



Projeto de pórtico com peças em ABS para impressão 3D na construção civil

Marcos Lajovic Carneiro (PUC-Goiás)
marcoslajovic@hotmail.com

Angelo Raimundo de Souza (PUC-Goiás)
angeloraimundo.19@gmail.com

Marcelo Faria (PUC-Goiás)
benkofaria@uol.com.br

Bruna G. Gouveia (PUC-Goiás)
bruna.gouveia@hotmail.com

Epaminondas L. Ferreira Junior (PUC-Goiás)
epajunioreng@gmail.com

O artigo apresenta o desenvolvimento de uma impressora 3D para a construção civil, detalhando os elementos eletrônicos e mecânicos da estrutura, bem como resultados de impressão com argamassa. O acionamento dos eixos e extrusora foi feito através de motores de passo NEMA 23, driver TB6600, Arduino Mega com uma placa de interface Ramps e firmware Marlin. A estrutura foi composta por perfis de alumínio e peças impressas em 3D com o material ABS com o objetivo de reduzir custos. O sistema foi controlado por meio de programas livres para impressão 3D. O protótipo foi capaz de produzir um fluxo bidirecional de argamassa, formando caminhos com 20 mm de largura, com aproximadamente 5 mm de espessura, a uma velocidade de 42 cm/min. A estrutura foi capaz alcançar uma velocidade limite de 1244 cm/min para a movimentação de seu cabeçote no plano horizontal.

Palavras-chave: Impressora 3D, Extrusora, Manufatura Aditiva, Construção civil.

1. Introdução

A Manufatura Aditiva (MA) ou Impressão 3D, como é popularmente conhecida, corresponde a uma técnica de fabricação de peças tridimensionais através de máquinas eletromecânicas robotizadas que depositam um determinado material seguindo instruções a partir de um modelo computacional. Um dos métodos utilizados é o *Fused Deposition Modeling* (FDM) que consiste na construção do objeto através da sobreposição de camadas de diferentes tipos de materiais (LOPES, 2016; HOPKINSON et al., 2006).

Os estudos para desenvolvimento de máquinas de Impressão 3D para aplicação na construção civil estão sendo realizados em diversos países, chegando em diferentes formatos de estrutura e sistemas de extrusão, assim como o estudo do material que será utilizado na impressão do objeto (FLORÊNCIO et al., 2016; ANIWAA, 2020; ICON, 2018). Em (ANIWAA, 2020) observa-se o relato de 13 impressoras 3D dedicadas à construção civil com topologias diferentes. Dentre as estruturas apresentadas, observam-se estruturas de pórtico móvel, braços robóticos, impressoras 3D Delta, dentre outras.

Dentre os formatos de estrutura encontrados na bibliografia, observou-se um potencial diferenciado na estrutura de pórtico (ICON, 2018). Esta estrutura apresenta um formato simples e flexibilidade para extensão de seus eixos, permitindo o escalonamento do equipamento para diversos tamanhos de construção. Devido a esse potencial, o trabalho desenvolvido propõe um modelo baseado nesta referência, contudo com um tamanho reduzido, estrutura leve e de baixo custo.

Os sistemas de deposição de argamassa em impressoras 3D para a construção civil variam normalmente entre sistemas de bombeamento e sistemas de extrusão (LOPES, 2016). Considerando a técnica FDM, a extrusora é a responsável por controlar o fluxo de material depositado em cada camada. A estrutura em formato de pórtico é responsável por posicionar o duto de saída da extrusora nos locais corretos na construção e com uma velocidade sincronizada com o fluxo de argamassa. Diversos outros componentes mecânicos, elétricos, eletrônicos e de software são necessários para se construir uma impressora 3D para a construção civil.

Esses componentes da impressora 3D para a construção civil têm demonstrado possuir altos custos (ANIWAA, 2020) tornando-a ineficiente para solucionar do déficit habitacional para pessoas com poucos recursos. Este artigo demonstra que a construção de uma impressora 3D para a construção civil pode ser de baixo custo através da utilização de peças impressas em 3D com o material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), geradas por impressoras 3D

convencionais de baixo custo. É apresentada uma estrutura leve e resistente de alumínio, juntamente com todo o sistema elétrico e eletrônico de controle da impressora.

O equipamento desenvolvido foi capaz de depositar um caminho cilíndrico de argamassa com 20 mm de diâmetro, 5 mm de espessura, com velocidade variável e controle de fluxo bidirecional na extrusora, apresentando o valor da velocidade máxima de impressão de 42 cm/min e velocidade máxima de deslocamento de 1244 cm/min no plano horizontal. O sistema de controle foi composto por um Arduino Mega, uma placa de interface Ramps, de código aberto, e o *firmware* Marlin, de código aberto e gratuito. O sistema também foi composto por *drivers* de motor de passo TB6600 com potência suficiente para a estrutura e o movimento da extrusora. Os testes de impressão foram realizados com argamassa industrial para validação do sistema e algumas peças 3D de argamassa foram impressas.

Esse artigo apresenta uma breve indicação de referências de artigos e patentes relacionadas às estruturas de impressoras 3D para argamassa na seção 2. A seção 3 apresenta a metodologia de *design* do protótipo, com subseções para a estrutura e sistema eletrônico. Os resultados dos testes de impressão e a análise de desempenho do processo são apresentados na seção 4 e as conclusões da pesquisa são apresentadas na seção 5.

2. Impressoras 3D para construção civil

Na construção civil é comum o uso de peças moldadas através de fôrmas, contudo, o uso da impressora 3D é capaz de inovar esse método tradicional pois apresenta vantagens por construir peças personalizadas sem ferramentas extras ou moldes, automatizar o processo, proporcionar liberdade de design e reduzir a geração de resíduos (MALAEB, 2015). No entanto, há uma necessidade de se evoluir as impressoras 3D para a construção civil para que elas sejam competitivas com o método convencional. Na Tabela 1, são apresentados alguns modelos de estruturas de impressoras 3D para construção civil já existentes no mundo (LOPES, 2016; LIM, 2012; GOSSELIN, 2016; CHEN-IUN-TAI, 2016).

Tabela 1 - Estruturas de impressoras 3D para construção civil

| Item | Nome/Origem/Tipo | Formato | Detalhes |
|------|-------------------------|---------------------------|---|
| 1 | Loughborough University | Pórtico | Estrutura retangular de 5,4m x 4,4m x 5,4m com quatro pilares fixos de metal com travamento nos quatro lados. |
| 2 | D-Shape | Pórtico | Estrutura de treliças de 7,5x7,5m, quatro pilares, altura varia entre 3 e 18m. A área efetiva de impressão é um quadrado de 6x6m. |
| 3 | Braço Robótico ABB 6620 | Braço Robótico esférico | Com seis graus de liberdade, Arduino Mega 2560, o framework Grasshopper/ Rhino v.5.0 (McNeel, Seattle, WA) e o plug-in HAL para controle do braço robótico. |
| 4 | Apis Cor | Braço Robótico cilíndrico | Colocada no centro da zona de trabalho e através de dois eixos prismáticos e um cilíndrico transporta o material de impressão. |
| 5 | Big Delta | Delta | Estruturas em barras treliçadas, com altura de 12 m, pode ser alimentada por placas solares, consumo de energia de 1 e 1,5 kW. |

Fonte: Adaptado de Lopes (2016); Lim (2012); Gosselin (2016); Chen-Iun-Tai (2016)

Devido à topologia em pórtico ser o foco deste estudo, foram analisadas através do *Google Patents* diversos conjuntos de termos de busca relacionados com impressoras 3D para construção civil. Foram analisadas as patentes resultantes da busca pelos termos “*concrete printer gantry mortar*”, entre os anos 2000 e 2019, que retorna 74 resultados. Destas, apenas 35 foram consideradas relevantes, sendo possível observar que o maior número de patentes deste grupo se concentra no ano de 2016. Dentre essas patentes consideradas mais relevantes, a Figura 1 apresenta as estruturas mais próximas do protótipo produzido nesta pesquisa (XUFENG & JING, 2016; KIM, 2014). O projeto do protótipo foi baseado também na impressora 3D Vulcan da Startup Icon (ANIWAA, 2020).

Figura 1 – Modelos em patente mais semelhantes ao protótipo desenvolvido (figuras à esquerda e ao centro); impressora comercial com modelo semelhante (direita).



Fonte: Adaptado de Xufeng & Jing (2016); Kim (2014); Aniwaa (2020)

3. Metodologia do projeto da impressora 3D e detalhes construtivos

A metodologia de desenvolvimento da impressora consistiu no uso da topologia de estrutura em pórtico, uso de sistemas eletrônicos de controle, *firmware OpenSource* e peças impressas em 3D no material ABS. O *design* foi baseado em impressoras presentes na literatura de patentes e artigos com o formato de pórtico (XUFENG & JING, 2016; KIM, 2014; ANIWAA, 2020; HUANG, 2017; HUANG, 2016; KHOSHNEVIS, 2007; NIEDERBERGER, 2016; MO et al., 2018), projetado para se locomover sobre trilhos, ao invés de pórticos com colunas fixas. Essa topologia permite que a área de impressão seja aumentada apenas pela extensão dos trilhos, sendo possível desmontar e guardar a estrutura da impressora em pequenos espaços e poder realizar seu transporte com pequenos veículos.

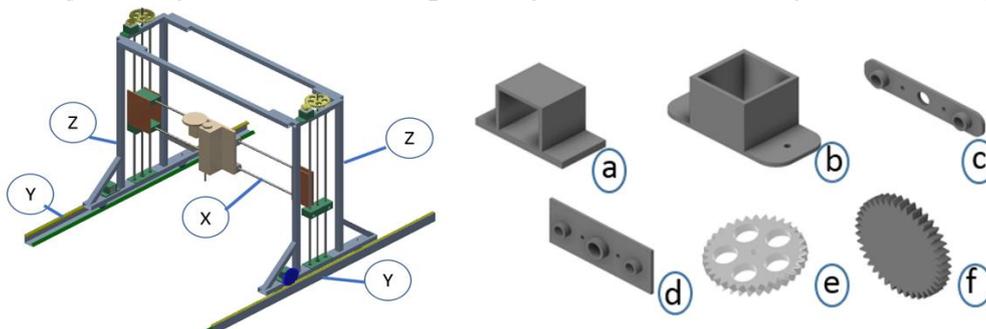
3.1. Projeto da estrutura

Com o objetivo de fazer uma estrutura de baixo custo, de fácil transporte, montagem e desmontagem, armazenamento e construção com ferramentas simples, utilizando como ferramenta mais complexa uma impressora 3D capaz de imprimir em ABS, desenvolveu-se a estrutura apresentada na Figura 2. Em todos os mecanismos de transmissão de movimento, de encaixe e acoplamento que pudessem exigir maquinário pesado, serviços personalizados que demandassem alto custo (para a produção de poucas peças) ou tempos de produção da ordem de algumas semanas ou meses, foram utilizadas peças impressas em 3D no material ABS (Figura 2).

Foram utilizadas ferramentas simples de corte e furação, foram utilizados parafusos ao invés de soldagem, portanto, devido à leveza, resistência e facilidade de trabalho, foram utilizadas cantoneiras e perfis de alumínio em toda a estrutura. Com o auxílio do programa AutoDesk Inventor (WAGUESPACK, 2013) foi feito o projeto mecânico e adaptações baseadas na literatura já citada visando a produção de um protótipo de 1,62 m de altura, 2,0 m de comprimento e 2,0 m de largura.

Os eixos X, Y e Z foram desenvolvidos de forma a serem facilmente desacoplados através de parafusos, sem utilizar peças soldadas. O objetivo deste *design* é o de possibilitar a desmontagem e o transporte da estrutura e, em seguida, montar novamente com facilidade, além de facilitar manutenções e aperfeiçoamentos em cada eixo individualmente.

Figura 2 -Projeto da impressora 3D (acima); alguns componentes da estrutura impressos em ABS (abaixo).



Fonte: Própria do autor

3.2. Sistema elétrico e eletrônico

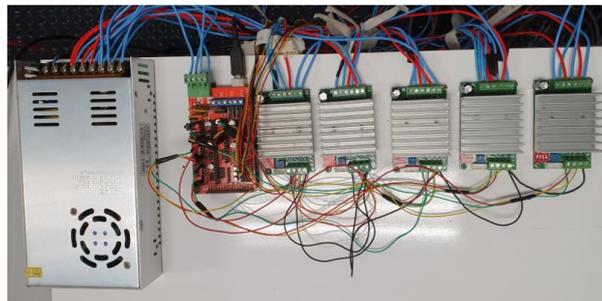
O sistema elétrico de potência e o sistema eletrônico de controle da impressora 3D é composto por um Arduino Mega (IBRAHIM et al., 2016; ROBERTS, 2015) acoplado a uma placa de interface Ramps (IBRAHIM et al., 2016) e a esta última placa são conectados drivers TB6600 de acionamento para motor de passo (Figura 3). A alimentação deste conjunto eletrônico e dos motores de passo é feita por uma fonte de 12V e 33A. O sistema também é composto por 3 chaves de fim de curso, um motor de corrente contínua (CC) (vibrador da extrusora) e uma fonte CC ajustável (conforme diagrama da Figura 4).

A impressora possui dois motores de passo para controlar o eixo Z (um no topo de cada torre para girar as barras rosqueadas) que estão ligados em um único *driver* (Figura 4). Ela possui dois motores para controlar o eixo Y, cada um ligado a um *driver* separado; um motor para controlar o eixo X e um motor para a extrusora, cada um deles também em um *driver* separado. Portanto, são utilizados 6 motores de passo NEMA23 na impressora desenvolvida e 5 *drivers*. A impressora também possui um motor CC com um peso desbalanceado conectado em seu eixo para que ele produza uma vibração no duto de alimentação da extrusora. Este motor é conectado a uma fonte CC ajustável para o controle do nível de vibração. O uso desse sistema de vibração é indispensável para que a argamassa possa descer pelo duto até chegar no parafuso trator que controla o fluxo de impressão.

As impressoras 3D de mesa utilizam normalmente *drivers* Pololu A4988 (IBRAHIM et al., 2016) acoplados sobre a placa de interface Ramps (IBRAHIM et al., 2016). Estes *drivers* possuem baixa corrente (1 A), não sendo capazes de produzir na estrutura o torque necessário para superar o atrito produzido entre a argamassa e o duto de extrusão. Para acionar o motor de passo com a corrente necessária ($I_{outmax} = 4 A$) foi utilizado o driver TB6600 (Figura 3).

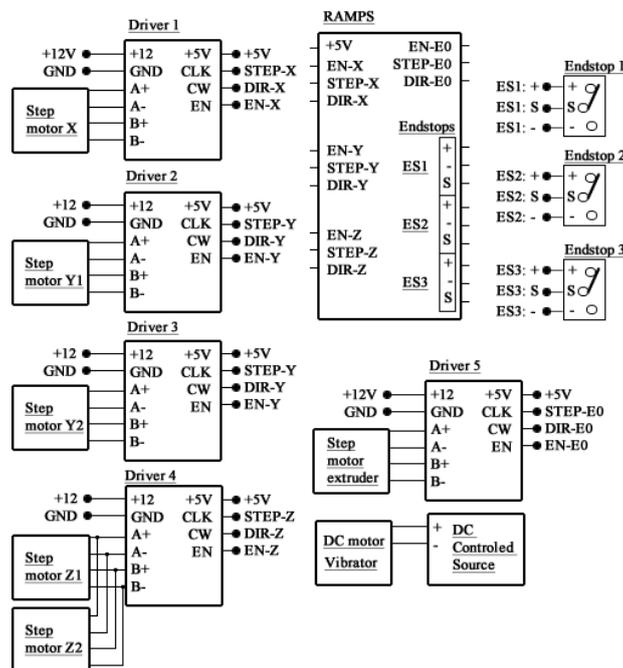
Assim como os *drivers* Pololu, este *driver* possui 3 pinos de controle - direção (CW), pulso (CLK) e habilitação (EN) – que são acionados pelo Microcontrolador ATMEGA2560 do Arduino Mega através do *firmware* Marlin (IBRAHIM et al., 2016; NISHIKAWA, 2017). A Figura 4 apresenta as conexões que devem ser feitas entre os pinos da placa Ramps, cada um dos 5 *drivers*, cada um dos 6 motores de passo e as chaves de fim de curso. O esquema também apresenta o motor CC (vibrador) conectado à fonte CC ajustável.

Figura 3 - Placa de controle da impressora 3D, drivers TB6600 e fonte de 12V DC



Fonte: Própria do autor

Figura 4 – Sistema eletrônico da impressora 3D



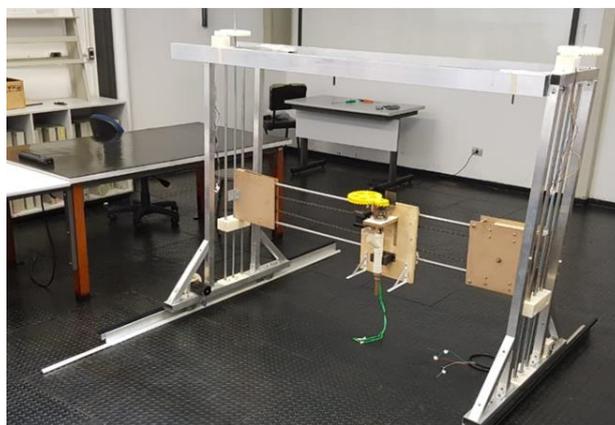
Fonte: Própria do autor

4. Resultados e análises

A impressora 3D foi construída, predominantemente, com os seguintes materiais: alumínio, madeira e plástico ABS. A estrutura final (Figura 5) ficou com uma massa total de

aproximadamente 47,8kg. Esta massa está dividida em 12,4 kg para cada torre, 11,5 kg para o eixo X, 3,5 kg para cada trilho do eixo Y e 4,5 kg para a extrusora. As dimensões da impressora ficaram em 1,62 m de altura, 2,0 m de comprimento e 2,0 m de largura. O volume de impressão disponível é de 1,10 metro de altura, 1,0 metro de largura e 1,0 metro de comprimento, dimensões suficientes para testes de pequenas paredes e objetos impressos em argamassa. Todos os componentes da estrutura são parafusados, facilitando sua montagem, desmontagem e aprimoramento do projeto.

Figura 5 – Estrutura da impressora 3D



Fonte: Própria do autor

Os testes de impressão 3D foram realizados com argamassa composta por areia natural de rio com $1,446 \text{ kg/dm}^3$, cimento Portland tipo 2 de $1,183 \text{ kg/dm}^3$ e cal hidratada de $0,911 \text{ kg/dm}^3$, aditivo incorporador de ar e água. A proporção utilizada, em relação à massa total da mistura é apresentada na Tabela 2. Esta composição de argamassa apresentou 2,784 Mpa no teste de compressão após 28 dias, sendo adequada para revestimentos.

Tabela 2 - Composição da argamassa

| Cimento | Cal | Areia | Aditivo | Água |
|---------|--------|--------|---------|--------|
| 12,17% | 12,17% | 58,39% | 0,24% | 17,03% |

Fonte: Própria do autor

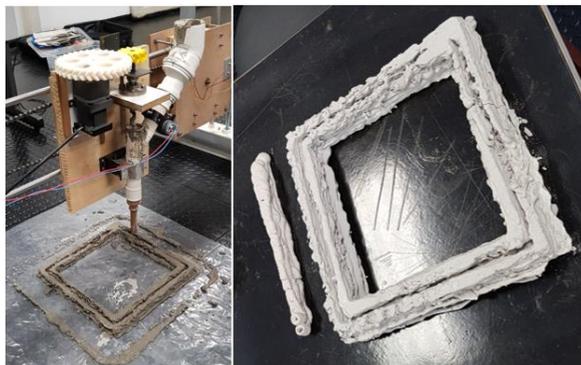
Observou-se que a velocidade máxima de rotação do motor da extrusora, carregada com argamassa, foi de 32,4 rpm. Com esta velocidade de rotação foi possível realizar a extrusão de forma contínua, produzindo uma linha de argamassa de 20 mm de largura e aproximadamente 5mm de altura a uma taxa de 42 cm/min.

Aumentando-se a velocidade, o motor passa a apresentar travamentos esporádicos e perda de passos. O torque de um motor de passo depende de sua velocidade de acionamento, sendo que quanto maior sua velocidade de rotação, menor é o seu torque (CONDIT & JONES, 2004).

Verificou-se então que ao se demandar uma velocidade de rotação de 64 rpm o motor permanece em bloqueio.

A Figura 6 (à esquerda) apresenta a extrusora durante a impressão de uma peça. É possível observar um motor CC responsável pela vibração acoplado ao duto de alimentação de argamassa (duto com ângulo de 45 graus por onde a argamassa desce antes de entrar em contato com o parafuso helicoidal de tração). Foram realizados testes com diversos níveis de vibração resultantes de tensões entre 0V e 5V no motor CC. Observou-se que quando a vibração é muito intensa, a argamassa escoava pela extrusora mesmo se o parafuso trator não estiver girando. Esse efeito ocorre com o acionamento do motor de vibração acima de 4V. Para uma tensão de 3,3V, a argamassa pode ser extrudada com facilidade através do giro do parafuso trator, sem escorrimento indesejado de argamassa nos momentos de sua parada. Para níveis de tensão abaixo de 2,5V, observou-se que a argamassa é extrudada com dificuldade, ficando a maior parte de seu volume bloqueada dentro do duto de extrusão.

Figura 6 – Extrusora de trabalho (esquerda) e duas peças impressas com argamassa (direita)



Fonte: Própria do autor

Pode-se observar na Figura 6 (à direita) duas peças impressas já secas as irregularidades resultantes de ajustes nos níveis de vibração da extrusora durante a impressão. A peça maior corresponde a um quadrado com 50 cm de lado. Observa-se na parte de baixo dela um caminho de argamassa mais regular, resultante de um maior fluxo devido à uma maior vibração. Na parte de cima desta mesma peça observa-se um caminho mais fino e irregular devido à baixa vibração durante a extrusão. Devido à composição da argamassa, as peças impressas depois de secas apresentaram uma aparência esbranquiçada e uma resistência quebradiça (ZOU, D. et al., 2015). No estágio atual de desenvolvimento do protótipo, a extrusora representa o gargalo na velocidade de impressão, pois a estrutura é capaz de realizar a movimentação do duto a uma velocidade de até 1244 cm/min no plano XY, sendo que a extrusora só foi capaz de imprimir a uma velocidade máxima de 42 cm/min. A Tabela 3 apresenta as velocidades máximas dos eixos.

Tabela 3 - Velocidade máxima dos eixos

| Eixo | Velocidade máxima (cm/min) |
|-------------|-----------------------------------|
| X | 880,0 |
| Y | 880,0 |
| Z | 5,8 |
| Extrusora | 42 |

Fonte: Própria do autor

Considerando uma casa de 42 m², com paredes de 15 cm de largura, 5 cômodos (uma sala, dois quartos, um banheiro e uma cozinha), uma base de 6,0 m x 7,0 m e paredes de 2,8 m de altura, se fossem impressos apenas os contornos das paredes, com camadas de 1 cm, essa extrusora necessitaria de aproximadamente 4 dias. Utilizando-se a velocidade máxima que a estrutura pode se locomover, esta mesma tarefa seria realizada em aproximadamente 3 horas e meia.

Para que esta mesma casa fosse impressa em 24h seria necessária uma taxa de extrusão de 160 cm/min, indicando que a velocidade máxima de movimentação da estrutura implementada seria suficiente.

Considerando-se uma argamassa com 2000 Kg/m³ de densidade, esta casa precisaria de uma massa de aproximadamente 9100 Kg (considerando apenas a impressão dos contornos das paredes com apenas um caminho de 20mm nas bordas). Com uma taxa de extrusão de 160 cm/min, caso a extrusora possua um reservatório para 50 Kg de argamassa (dimensões de 40 cm x 30 cm x 21 cm, aproximadamente) para ser alimentado apenas quando necessário, ele deveria ser alimentado aproximadamente 182 vezes durante essas 24h. Isso representaria um abastecimento do reservatório a cada 8 minutos aproximadamente, sendo, portanto, quase que um abastecimento contínuo.

Quanto maior o volume do reservatório da extrusora, maior o peso a ser deslocado pela estrutura, exigindo motores maiores, com torque mais elevado e um sistema eletrônico mais complexo de acionamento. Portanto, esses resultados indicam que a melhor solução para uma impressora 3D de baixo custo para a construção civil deve ser através da deposição da argamassa através de uma mangueira, diretamente sobre a peça, e com um sistema de bombeamento da argamassa externo à estrutura, evitando-se colocar peso sobre o cabeçote com locomoção em 3D.

5. Conclusões

O desenvolvimento da técnica de impressão 3D com concreto e/ou argamassa pode ajudar na construção de estruturas complexas, redução do desperdício, redução de acidentes de trabalho e a efetiva inserção da automação na indústria da construção civil. Os estudos de redução de custo deste equipamento são importantes para a popularização da técnica e a sua aplicação no sentido de reduzir o déficit habitacional e auxiliar populações carentes.

Alguns casos de sucesso de impressoras 3D de argamassa e concreto já estão acontecendo em alguns países. No entanto, a corrida empresarial por patentes e o domínio de uma nova tecnologia revolucionária tem gerado diversas publicações sem os devidos detalhes técnicos para a reprodução dos experimentos.

Com o estudo verificou-se a possibilidade da implementação uma impressora 3D para argamassa com baixo custo utilizando-se peças impressas também em 3D com ABS em sua estrutura. Foi implementado um equipamento leve, de fácil desmontagem, deslocamento e remontagem, permitindo assim a sua utilização em diversos locais.

Também foi possível construir uma extrusora que conduz a argamassa do reservatório até o final do duto de extrusão utilizando todo o sistema de controle de uma impressora 3D para plástico. Todo o controle foi feito utilizando softwares existentes e gratuitos para impressoras 3D. Toda a eletrônica embarcada, motores de passo, Drivers, Arduino, Ramps e fonte utilizados na impressora é de fácil aquisição no mercado e baixo custo.

O uso de motores de passo juntamente com o conjunto de engrenagens foi capaz de fornecer o torque suficiente para impulsionar os eixos X, Y e Z da estrutura. Contudo, observa-se que a impressora desenvolvida, no momento ainda é mais adequada para a construção de pequenas peças, devido à sua limitação de tamanho, velocidade de extrusão e a necessidade de abastecimento contínuo manual. Além disso, ainda são necessários mais estudos para verificar se os mecanismos construídos com peças em 3D teriam resistência suficiente para suportar as forças envolvidas no trabalho de uma impressora grande o suficiente para imprimir uma casa em tamanho real.

Para o efetivo de teste da impressora 3D para construção civil com argamassa, trabalhos futuros deverão apresentar testes com mais peças impressas, utilizando aperfeiçoamentos na estrutura desenvolvida e outros traços de argamassa. Também deve-se criar um sistema de bombeamento da argamassa para o reservatório da extrusora. Outro estudo importante refere-se à comparação

com sistemas de impressão que possuem todo o sistema de bombeamento externo à estrutura, evitando-se colocar muito peso sobre o cabeçote de impressão.

6. Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelos recursos fornecidos para a aquisição da impressora 3D Zmorph e bolsa de estudos, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo credenciamento do programa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ANIWAA. **The 13 best construction 3D printers in 2020**, 2020. Disponível em:

<<https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-printers/house-3d-printer-construction/>> Acesso em: 02 de mar. 2020.

CHEN-IUN-TAI, Nikita. **3d Printer In Polar Coordinates**. United States, Patent No. WO2017209786, 2016.

CONDIT, Reston & JONES, Douglas W. **Stepping Motors Fundamentals**, Iowa: Microchip Technology InC, AN907, 2004.

FLORÊNCIO, Eduardo Quintella, SEGUNDO, Dilson Batista Ferreira & QUINTELLA, Ivvy Pedrosa Cavalcante Pessoa. **O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura**, Buenos Aires, Argentina: XX Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital, pag. 9-11, 2016.

GOSELIN, Clément, DUBALLET, Romain, ROUX, Philippe, GAUDILLIÈRE, Nadja & DIRRENBERGER, Justin et al. **Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders**. Materials and Design, Elsevier, 2016, 100, pg.102-109.

HOPKINSON, Neil, HAGUE, Richard & DICKENS, Philip. **Rapid Manufacturing, An Industrial Revolution for the Digital Age**, Chichester, England: John Wiley and Sons, Ltd, 2006.

HUANG, Chao-Shun. **3D printing device for buildings**. Taiwan, Patent No. TWM538457U, 2016.

HUANG, Zhao-Shun. **3D printing engineering method**. Taiwan, Patent No. TWI612206B, 2017.

IBRAHIM, Mohd Izham, N. M. A. Isa, N. Sa'ude & M. I. Ibrahim. **Verification of feed rate effects on filament extrusion for freeform fabrication**, Pakistan: Asian Research Publishing Network (ARPN), 2016.

ICON. **Icon creates 3d-printers, robotics, and advanced materials that are revolutionizing homebuilding**, 2018. Disponível em: <<https://www.iconbuild.com/>> Acesso em: 02 de mar. 2020.

KHOSHNEVIS, Behrokh. **Gantry robot system and related material transport for contour crafting**. United States, Patent No. US8029710B2, 2007.

KIM, Sug-Moon. **3d printing apparatus and constructing method of steel frame concrete structure using the same**. Korea, Patent No. KR101526827B1, 2014.

LIM, Sungwoo, BUSWELL, Richard A., LE, Thanh T., AUSTIN, Simon, GIBB, Alistair G.F. & THORPE, Tony. **Developments in construction-scale additive manufacturing processes**, United States: Automation in Construction, 2012.

LOPES, Gonçalo Teixeira Ferreira, 2016. **Exploração das Possibilidades da Impressão 3D na Construção**, Porto, Portugal: Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2016.

MALAEB, Zeina, HACHEM, Hussein, TOURBAH, Adel & MAALOUF, Toufic. **3D Concrete Printing: Machine and Mix Design**, Tamilnadu, India: International Journal of Civil Engineering and Technology, Volume 6, Issue 6, 2015, Pg. 14-22.

MO, Yi-Lung, YU, Cunjiang & SAWAB, Jamshaid. **4-dimensional printing of reinforced concrete**. United States, Patent No. WO2018136475A1, 2018.

NIEDERBERGER, Anton. **Concrete Printer and Method for Erecting Structures Using a Concrete Printer**. United States, Patent No. US20180093373A1, 2016.

NISHIKAWA, Karen Ayumi. **Simulação de corte em protótipo de máquina de corte bidimensional não guilhotinado**. Uberlândia: Monografia, Engenharia de Produção, 2017.

ROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. 2ª ed. São Paulo: Novatec, 2015.

WAGUESPACK, Curtis, 2013. **Mastering Autodesk Inventor 2014 and Autodesk Inventor LT 2014**: Autodesk Official Press. John Wiley & Sons, 2013.

XUFENG, Jiang & JING, Zhang **Building 3D printing equipment**. China, Patent No. CN205766713U, 2016.

ZOU, Dinghua, ZHANG Haoran, WANG Yuli, ZHU Jianping & GUAN Xuemao. **Internal curing of mortar with low water to cementitious materials ratio using a normal weight porous aggregate**, United States: Construction and Building Materials, 2015.