

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LETÍCIA BRAGA DA SILVA
RONALDO HENRIQUE SILVA**

**USO DE TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO
CIVIL: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A ENGENHARIA BRASILEIRA**

**VOLTA REDONDA
2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**USO DE TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO
CIVIL: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A ENGENHARIA BRASILEIRA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Alunos: Letícia Braga da Silva
Ronaldo Henrique Silva

Orientador:
Prof. M.Sc. Marcus Vinícius Faria de Araújo.

Coorientador:
Prof. M.Sc Laert dos Santos Andrade

**VOLTA REDONDA
2020**



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: USO DE TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A ENGENHARIA BRASILEIRA.

Elaborado por Leticia Braga da Silva, Matrícula: 201610581 e Ronaldo Henrique Silva, Matrícula: 201610611.

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Civil.

Aprovada em 19 de novembro de 2020.

Banca examinadora

Professor Orientador

Prof. Me. Marcus Vinicius Faria de Araujo, UniFOA

Professor Avaliador

Prof. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira, UniFOA

Professor Avaliador

Prof. Me. Pedro França Magalhães, UniFOA

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho primeiramente a DEUS por nos guiar e realizar este sonho.

Aos nossos pais, familiares e amigos que nos deram força nos momentos difíceis para continuarmos lutando.

Aos professores e todos aqueles que torceram por nós

A todos aqueles que de forma direta ou indireta nos ajudaram ao longo de r caminhada.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus, por ter permitido a realização de nosso projeto de vida ao longo desses anos.

À nossa família pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A todos que fizeram parte da formação, o nosso reconhecimer agradecimento.

RESUMO

A tecnologia de Impressão 3D foi desenvolvida a partir dos anos 80, com a finalidade de criar produtos com custos baixos e para ser aplicado em diversos seguimentos. Com a sua evolução, de fato, as aplicações foram evoluindo e se diferenciando, com o tempo este processo tecnológico passou a gerar benefícios na área da construção civil. Trata-se de um processo em que um modelo digital tridimensional que está em um computador, possibilita criar de modo físico pela deposição de sucessivas camadas de material. A tecnologia de Impressão 3D contribui para fabricar peças com alto grau de dificuldades com baixo custo. No Brasil essa nova tecnologia é pouco utilizada, visto que o país ainda utiliza o método tradicional na construção civil. O objetivo desse estudo é apresentar as vantagens competitivas que tal tecnologia pode proporcionar, uma vez empregada em larga escala no Brasil. Para realizar esse estudo utilizou-se de livros, artigos, revistas, que tratam do tema. Com o estudo realizado, conclui-se que o avanço na tecnologia contribui para o crescimento do país e a Impressão 3D pode ser utilizada em diversos seguimentos, e em todos contribui para o ganho de tempo, redução de custos, dentre outros benefícios.

Palavras-chave: Impressão 3D. Construção Civil. Tecnologia.

ABSTRACT

The 3D printing technology was developed from the 80's, with the purpose of creating products with low costs and to be applied in different segments. With its evolution, in fact, applications have evolved and differentiated, over time this technological process has started to generate benefits in the area of civil construction. It is a process in which a three-dimensional digital model that is on a computer, makes it possible to create physically by depositing successive layers of material. 3D printing technology helps to manufacture parts with a high degree of difficulty at low cost. In Brazil, this new technology is little used, since the country still uses the traditional method in civil construction. The objective of this study is to present the competitive advantages that such technology can provide, once employed on a large scale in Brazil. To carry out this study, books, articles, magazines were used, dealing with the theme. With the study carried out, it is concluded that the advancement in technology contributes to the growth of the country and 3D printing can be used in several segments, and in all contributes to time savings, cost reduction, among other benefits.

Keywords: 3D Printing. Construction. Technology.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1. Problemática	11
1.2. Justificativa	11
1.3 Estratégia da pesquisa	11
1.4. Objetivos	12
1.4.1 Objetivo Geral	12
1.4.2 Objetivo Específico	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Impressão 3D	13
2.1.1 Modelagem por fusão e depósito	15
2.1.2 Seletiva a laser	16
2.1.3 Estereolitografia	17
2.1.4 Manufatura de objetos laminados (LOM)	18
2.1.5 Impressão Tridimensional (3D Print)	19
2.2 Tecnologia de Impressão 3D	20
2.3 Aplicação das Impressoras 3D na Construção Civil	21
2.4 Benefícios da Impressoras 3D	25
2.5 Custos da Impressão 3D na Construção Civil	27
2.6 Construção de casas por empresas para ex moradores de rua via Impressão 3D	29
3. APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL	32
3.1 Utilização da Impressão 3D para produção de unidades habitacionais populares	35
4. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três Dimensões
3DP	Impressão Tridimensional (3D print)
FDM	Modelagem por Fusão e Depósito
SLA	Estereolitografia (Stereolithography)
LOM	Manufatura de Objetos em Lâmina (Laminated Object Manufacturing)
CAD	Desenho Assistido por Computador (Computer-Aided Design)
SLS	Sinterização Seletiva a Laser (Selective Laser Sintering)
3DCP	3D de Cimento Portland
CC	Contour Crafting
OIT	Organização Internacional do Trabalho
ACE	Aceleradoras de Startups e Inovação Corporativa
CMU	Unidade de Alvenaria de Concreto
IBC	Código Internacional de Construção
CSP	Centro Sviluppo Progetti
WASP	World's Advanced Saving Project
UNB	Universidade Federal de Brasília

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Esquema de Fusão e Depósito.....	16
FIGURA 02 – Esquema Seletiva a Laser	17
FIGURA 03 – Esquema SLA	18
FIGURA 04 – Esquema LOM.....	19
FIGURA 05 – Esquema 3DPrint.....	20
FIGURA 06 – Casa de concreto impressa em 3D.....	22
FIGURA 07 – Extrusão do concreto via camadas	23
FIGURA 08 – Transporte das partes impressas.....	25
FIGURA 09 – Casa vista internamente	25
FIGURA 10 – Casas impressas.	26
FIGURA 11 – Extrusão do concreto na China	27
FIGURA 12 – Moldes de concreto da China	28
FIGURA 13 – Vista exterior, China.....	28
FIGURA 14 – Vista frontal, China	29
FIGURA 15 – Casas Icon	30
FIGURA 16 – Extrusão de concreto Icon	31
FIGURA 17 – Impressora Vulcan da ICON	35
FIGURA 18 – Casa impressa em 3D	36
FIGURA 19 – A impressora Bigdelta.....	37
FIGURA 20 – Etapa produção de casa utilizando a Bigdelta..	37
FIGURA 21 – Método de produção da WISUN...	38
FIGURA 22 – Casa construída pela WISUN...	39
FIGURA 23 – Prédio construído pela WISUN...	39

FIGURA 24 – Impressora da Inovahouse3D em atuação39

1. INTRODUÇÃO

No século XXI as novas tecnologias foram de grande importância para o aperfeiçoamento da produção e eficiência dos produtos no mercado mundial, que sempre visa melhorias. Nos dias de hoje grande parte das empresas em quaisquer que sejam seu ramo, tornam-se cada vez mais automatizadas devido ao avanço tecnológico (PORTO, 2016).

Apesar disto, o mesmo cenário não se replicou na área da construção civil, visto que em projetos e construções de prédios, casas e outras categorias de obras, ainda se emprega a mão de obra braçal. O início dessa nova tecnologia será dado a passos curtos e cautelosos, como qualquer outra inovação (PORTO, 2016).

Em países desenvolvidos a nova técnica tem sido utilizada e apresenta ótimos resultados, seguido de custo benefício. No Brasil essa nova tecnologia é pouco utilizada, pois o país utiliza principalmente o método de assentamento de lajotas, ou seja, mão de obra braçal (FARIAS, 2013).

O mesmo autor afirma ainda que a construção civil no Brasil ainda utiliza técnicas artesanais, o que gera desperdício. O país possui uma grande demanda em relação à produção de casas populares, destinadas principalmente a construção de moradia para a população com baixo poder aquisitivo.

O Censo (2010), realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indica que muitas famílias vivem em locais inapropriados, como nas margens de rios e encostas, consideradas lugares de grandes riscos. Tais locais representam alto risco a segurança, saúde e vida, tendo grande incidência de calamidades ocasionados pelos ciclos hidrológicos.

Segundo Khoshnevis, (2004 *apud* Barroso *et al*, 2019), devido a grandes desastres naturais, milhares de casas no mundo são destruídas, conseqüentemente muitas famílias ficam desabrigadas necessitando assim de reposição urgente das residências.

Para atender a essa grande demanda da população menos favorecida, a construção civil pode recorrer a tecnologias contemporâneas como a impressão 3D. Essa inovação é um processo tridimensional que concentra camadas com a finalidade de projetar um corpo sólido em 3D, partindo de um exemplar digital, em que sua

aplicação contribui para economia além de diminuir desperdícios. A mesma capacidade de construção não pode ser replicada com as formas convencionais praticadas atualmente (WOLFES, 2015, *apud* PORTO, 2016).

A utilização dessa tecnologia deixa claro que os colaboradores que atuam na área da construção civil, serão obrigados a se aprimorar cada dia mais e se capacitarem. Nessa perspectiva, pode-se afirmar que as novas tecnologias, contribuirão para a criação de novos cargos e empregos (BARROSO, *et al* 2019).

A impressora 3D oferece uma nova maneira de se produzir e trabalhar. Vale destacar que já existem grandes startups no Brasil como a Urban 3D e InovaHouse 3D que procuram além de usar a tecnologia, também economizar, utilizando matéria prima a base de insumos sustentáveis e refugos reciclados (BARROSO, *et al* 2019).

1.1 Problemática

Diante do exposto, questiona-se: Quais as principais vantagens e desvantagens do uso da tecnologia de impressão 3D na construção civil?

1.2 Justificativa

Sabendo-se do déficit habitacional que existe no Brasil, a relevância deste trabalho se justifica devido a necessidade de demonstrar que a engenharia deve acompanhar a evolução tecnológica, desenvolver soluções que agreguem custos baixos, precisão na execução, minimização de perdas e velocidade de implantação.

1.3 Estratégia da pesquisa

Este trabalho apresenta a seguinte estratégia: Pesquisar em literaturas as etapas e conceitos acerca da utilização da impressora 3D na produção de casas populares. Em seguida comparar a forma atual utilizada nas construções em relação a agilidade, desperdícios e custos em relação às novas tecnologias existentes. Segue-se a abordagem a respeito das inovações ocorridas no século XXI, especificamente no ramo da construção civil considerando o emprego da tecnologia de impressão 3D.

Para fundamentar a pesquisa, foi feita uma revisão bibliográfica, exploratória descritiva e com uma abordagem qualitativa. Utilizou-se de monografias, artigos, livros, revistas, ligados ao tema, bem como pesquisa de sites especializados e confiáveis para buscar informações teóricas sobre impressoras 3D e sua utilização na construção civil, por se tratar de algo novo e que são atualizados continuamente.

As fontes de pesquisas apresentadas no desenvolvimento desse estudo são de natureza primária e secundária.

A abordagem metodológica compreende, a partir da base de informações apresentada em revisão bibliográfica, um detalhamento da experiência mundial no uso da tecnologia de impressão 3D na construção civil, estabelecendo comparativos e demonstrando com isso, o potencial de utilização da mesma no Brasil.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo geral apresentar as vantagens competitivas que tal tecnologia pode proporcionar, uma vez empregada em larga escala no Brasil.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Compreender e analisar a tecnologia 3D na construção civil;
- Elencar as etapas que ocorrem na construção em impressora 3D;
- Apresentar experiências com emprego de tal tecnologia no setor de construção civil em outros países.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impressão 3D

De acordo que as impressoras 3D se tornam populares, a maneira de se produzir está sendo alterada. Para Anderson (2012), está ocorrendo uma Nova Revolução Industrial no mundo. A impressora 3D por meio de um computador, a começar por um desenho, possibilita preparar objetos sólidos em três dimensões. Viabiliza construir um objeto adicionando camada sobre camada de material de forma a moldá-lo por meio do raio laser. Na prática, é visto como uma pequena fábrica que permite criar produtos personalizados, mediante um custo baixo, além de pouca mão de obra e pouco desperdício em uma indústria comum. (ANDERSON, 2012).

Em 1766 ocorreu a Primeira Revolução Industrial, nessa época, surgiu a máquina a vapor e a máquina de tecer foi aperfeiçoada. Gradativamente outros mecanismos foram criados, o que possibilitou realizar as atividades com mais agilidade, o que provocou uma vasta alteração em todo comércio.

A Segunda Revolução Industrial foi uma fase que se estendeu desde 1850 até o fim da Primeira Guerra Mundial. Abrange o motor de combustão interna, o refino do petróleo e as indústrias químicas, e a eletrificação. Inclui-se nessa fase a construção do Modelo-T de Ford e a linha de montagem de Henry Ford que se caracteriza pela inserção de frações intercaladas e de esteiras transportadoras, onde os produtos que estão sendo fabricados se movimentam de forma contínua para unidades de trabalho inertes.

Na segunda metade do século XX surgiu a fase da Informação. O desenvolvimento da internet e da Web ocorreu na década de 1990, anteriormente, nos anos de 1970, surgiu o computador pessoal. Com isso os serviços e a produtividade contribuíram para gerar mais ganhos nas indústrias. As inovações na computação e na comunicação, não caracterizam uma Revolução Industrial, até gerar efeitos populares em relação a produção, ao virar o século. A vista disso, é possível que a Terceira Revolução seja ainda mais percebida como uma associação da fabricação pessoal e digital (ANDERSON, 2012).

Segundo Silveira (2016), em 1976 a primeira ideia de impressão 3D surgiu com a aparição das impressoras de jatos de tinta. O objetivo é inserir o modelo em um

software de impressão que irá compilar suas informações e estruturar camada por camada.

Charles Hull em 1984, um norte americano do estado da Califórnia, propôs o primeiro processo de impressão 3D utilizando a Estereolitografia, um processo em que o laser ao entrar em contato com um líquido composto por polímeros, solidifica o mesmo e forma a peça. Este marco destacou-se na história por definir a primeira impressora 3D comercialmente viável, que tinha como seu primeiro produto uma lâmpada. As peças eram criadas de forma complexa enquanto o usuário dormia durante a noite (TELES, 2016).

Com o desenvolvimento da impressora 3D, deixou-se de existir o dever de se aplicar em fábricas a vasta mão de obra, pois produzir não era somente direito de poucos. Gradativamente a indústria se torna mais digital, iniciam-se os desenhos de produtos físicos a partir de arquivos contidos em softwares, *que podem ser compartilhados pela internet*. Os desenhos dos objetos em 3D são realizados com utilização dos computadores, logo pessoas comuns já podem produzir estes modelos mesmo de casa (BASS, 2011).

Essa nova tecnologia expandiu-se para diversos segmentos a procura de inovação, aprimoramento e melhoria na forma de se fabricar, como na área da saúde. Teles (2016), descreve avanços como a primeira bexiga urinária que foi impressa em 3D em 1999 e o primeiro rim funcional que teve sua impressão no ano de 2002.

Conforme notícias no G1.com, Ciências e Saúde (2019) a Universidade de Tel Aviv, em Israel apresentou um protótipo de coração vivo humano que pulsa, realizado através da tecnologia 3D. Essa inovação no campo médico poderá ser o ponto principal para a cura da maioria da população mundial.

Em 2006, ocorreu a evolução do processo de impressão 3D a começar pela Estereolitografia a Laser e a Sinterização Seletiva com peças mais complexas, que proporcionaram um processo com diversos designs e ligas de materiais.

A indústria digital de impressoras 3D atingiu a eficácia de produção tanto em escalas mínimas como no ramo de bioengenharia, quanto em grandes escalas como na construção civil. Porto (2016), afirma que a partir do processo por impressão 3D, o designer do produto não se preocupa com as dificuldades

e limitações no processo de produção como antes, visto que as máquinas criam o projeto.

Para Porto (2016) as técnicas essenciais de impressão 3D são: Modelagem por Fusão e Deposição, Sinterização Seletiva a Laser, Estereolitografia, Manufatura de Objetos Laminados e 3D Print.

2.1.1 Modelagem por fusão e depósito

É uma técnica que se baseia na extrusão de termoplásticos. A máquina é constituída por um cabeçote que se move nos eixos X e Y, e por uma plataforma encarregada que desloca verticalmente. O injetor de material permanece quente e carrega o filamento plástico que se encontra envolto em uma bobina. A substância move-se entre dois bicos extrusores localizados no cabeçote para ser recolhido na plataforma. O material que comporá o objeto passa em um bico e no outro o material que será usado como apoio ao fabricar superfícies complexa (RAULINO, 2011).

Ao ficar concluída a primeira camada, a plataforma se move para baixo em um valor que equivale a grossura da camada nova, para fazer a camada seguinte. Este modelo de impressora pode variar no processo, a base se move nos eixos X e Y e a extrusora se move no eixo Z. Estas fases se repetem conforme a necessidade até que o objeto 3D seja formado completamente. O tempo do processamento pode ser rápido ou demorar horas, dependerá da qualidade e complexidade da impressora (RAULINO, 2011).

A tecnologia Modelagem por Fusão, Figura 1, retrata determinados benefícios com referência a outras técnicas de impressão, que contribui para o menor desperdício de produtos de limpeza. Esta impressora é mais utilizada para fabricar produtos de menor complexidade, ocupa menor espaço, pois os motores de acionamento precisam de menos potência e resfriamento que os lasers, além disso, sua instalação pode ser em locais não industriais (RAULINO, 2011).

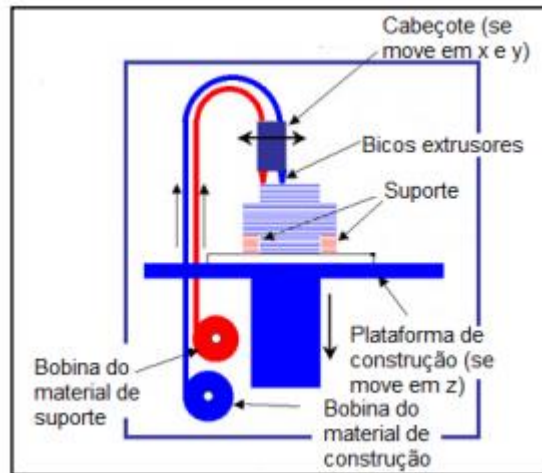


Figura 1 - Esquema da Fusão e Depósito.

Fonte: XPRESS3D (2013).

2.1.2 Seletiva a Laser

Por meio da Seletiva a Laser é possível criar produtos tridimensionais sobre posicionando camadas homogêneas de polímeros em pó. Por meio dessa técnica é utilizado equipamento de constituição mais forte, com resistência mecânica e térmica adequadas. Esse processo oferece capacidade para utilizar muitos materiais para fabricar produtos, tais como: elastômeros, cerâmicas poliamidas, e metais com polímeros aglutinantes (GRIMM, 2005).

O procedimento de fabricação começa com o enchimento da câmara de impressão com o pó, logo após, o material é nivelado pela máquina e projeta o pó utilizando-se um laser de alta potência, fazendo com que o material entre em fusão. Em seguida forma-se uma camada, a plataforma central desce e um rolo quente desloca sobre a superfície de impressão e cobre a camada criada recentemente com mais pó. Sucessivamente esse processo se repete até que o produto fique totalmente pronto, como pode ser visto na figura 2.

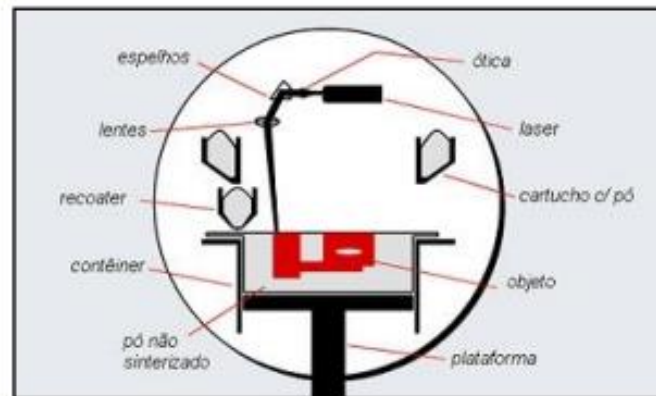


Figura 2 - Esquema Seletiva a Laser.
Fonte: CIMJET (2014).

2.1.3 Estereolitografia

Essa é a técnica que deu início à impressão 3D, denominada Estereolitografia, foi criada por Charles Hull, norte americano. Seu processo é similar ao processo Seletiva a Laser, utiliza-se o laser para que as camadas fiquem endurecidas, contudo o produto é constituído quando há o endurecimento da resina. Deste modo, a tecnologia fundamenta na polimerização de uma resina (acrílica, epóxi ou vinil) fotossensível formada por diversos elementos tais como: foto iniciadores, monômeros, e aditivos, através de um feixe de laser ultravioleta (BADOTTI, 2003).

A construção do objeto começa quando a cuba é preenchida com a resina, dentro da cuba há uma plataforma capaz de se transladar verticalmente. Em conformidade com os comandos do domínio numérico, o laser é projetado na área do líquido, e ocorre a solidificação no ambiente em que o laser foi projetado.

Uma camada é formada, a plataforma desce para mergulhar na cuba, o que facilita na criação de uma nova camada de forma consecutiva. A figura 3 apresenta este processo.

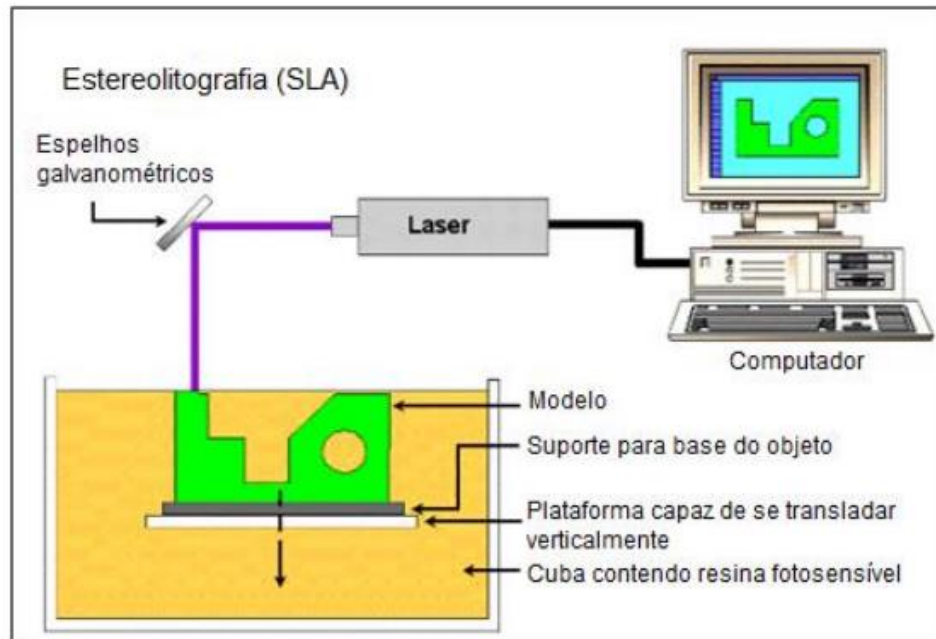


Figura 3 - Esquema SLA.

Fonte: Center for BioMolecular Modeling, Milwaukee School of Engineering. (2014).

Ao terminar a impressão é preciso retirar o excedente de líquido das peças e logo após, completar o processo de cura em um forno. A tecnologia SLA mostra uma produção de produtos com mais precisão ao se comparar com a técnica FDM, tendo em vista a produção de modelos mais resistentes e complicados. Vale destacar que se trata de uma tecnologia de alto custo, uma vez que são maiores os gastos com a compra, manutenção e operação da máquina e dos materiais (KARASINSKI, 2013).

2.1.4 Manufatura de Objetos Laminados (LOM)

A aquisição dos objetos nesse processo, acontece com o posicionamento do papel de forma sucessiva, e o perímetro exterior correspondente ao corte da camada do objeto é cortado por um feixe laser. Inicia-se o processo ao desenrolar um rolo de papel molhado de cola termoplástica na sua superfície inferior (GRIMM, 2005).

Em seguida o papel que está sobre a camada anterior é comprimido por um rolo pré-aquecido que consolida a colagem. O corte da borda da camada é feito através de um laser. A remoção da peça do interior do bloco formado pela bobina de papel é feita ao cortar o papel de suporte, que não faz parte do componente. O processo de LOM é apresentado na figura 4 (GRIMM, 2005).

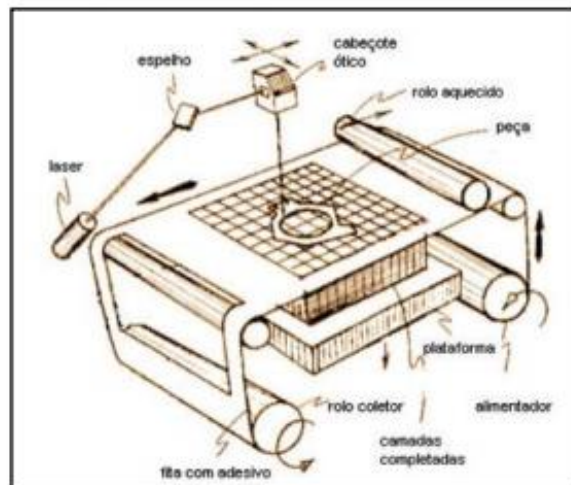


Figura 4 - Esquema LOM.
Fonte: CIMJET (2014).

2.1.5 Impressão Tridimensional (3D Print)

É um processo de prototipagem acelerada, utiliza-se o conceito de impressão a jato de tinta dos computadores. A máquina é construída com a utilização de peças adequadas de impressoras convencionais, o que difere é que, seu cabeçote elimina um agente pegajoso formado por uma solução aquosa e cola e não de tinta. Esse processo foi criado pelo Massachusetts Institute of Technology e é parecido com as outras técnicas que já foram citadas anteriormente. A produção é realizada camada por camada utilizando-se de um modelo digital criado no CAD (GRIMM, 2005).

Em um recipiente com pó cerâmico ou polimérico, ocorre o movimento de uma plataforma no eixo Z de coordenadas, e o pó permanece aglutinado, formando as camadas do objeto. Conforme a plataforma desce, uma nova camada vinda de outra plataforma ascendente é carregada por um rolo, conforme demonstrado na figura 5.

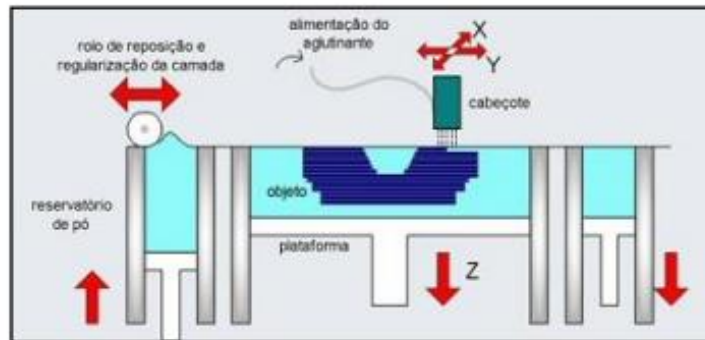


Figura 5 - Esquema 3DPrint.

Fonte: CIMJET (2014).

O cabeçote de aglutinante se movimenta nas coordenadas X e Y e forma o desenho das camadas do objeto continuamente, o mesmo passa pela etapa de construção, posteriormente, retira-se de dentro o volume de pó excedente. Depois do procedimento de fabricação, é preciso infiltrar elementos químicos novos na porosidade do objeto que foi construído (GRIMM, 2005).

2.2 Tecnologias de Impressão 3D

Na década de 1980 surgiram as primeiras tecnologias de impressão 3D, denominadas como Tecnologias de Prototipagem Rápida. Recebeu esse nome pois os processos foram idealizados como um sistema acelerado e mais lucrativo para criar protótipos e desenvolver objetos no interior da indústria (3D PRINTING INDUSTRY, 2016).

Hideo Kodama do Instituto de Pesquisa Industrial do Município de Nagoya fez o primeiro pedido de patente para trabalhar com Prototipagem Rápida. Porém, as impressoras 3D tiveram início em 1986 por Charles Hull. Charles Hull, engenheiro formado na Universidade do Colorado, ele criou o primeiro protótipo de tecnologia, a Estereolitografia, conhecida como impressora 3D.

Hull desenvolveu em 1973 uma tecnologia que seria a máquina para criar lâmpadas para solidificar resina e produzir de forma rápida partes de plástico. Naquele período a impressora já apresentava algumas peculiaridades tais como: rapidez e flexibilidade. A Estereolitografia foi patenteada, no mesmo ano Hull junto a 3D Systems Corp, iniciou a comercialização da tecnologia. Uma empresa ainda respeitada no mercado (VILICIC, 2012).

Nos anos 90 os primeiros modelos de impressoras 3D surgiram, em 1991, foi produzida a primeira máquina de FDM pela a empresa de tecnologia Stratasys, no ano seguinte, a Systems Corp. introduziu a primeira impressora de tecnologia SLA e a startup DMT produziu a primeira máquina de SLS (VILICIC, 2012).

Em 1995 o vocabulário “Impressora 3D” foi ratificado por Jim Bredt e Tim Anderson. Nesse período era evidente os defeitos no material que era endurecido na fabricação dos produtos, além disso, o custo das máquinas era elevado para pequenos empreendedores. Entretanto, era inegável a capacidade da tecnologia. Posteriormente muitos avanços aconteceram e com o desenvolvimento das impressoras 3D, a medicina foi muito beneficiada (VILICIC, 2012).

O uso das máquinas de prototipagem rápida tem crescido, e nos últimos anos de forma acelerada. A previsão é de que os processos evoluem cada vez mais e ocorra a diminuição dos custos das matérias primas e do maquinário. É muito comum utilizar da tecnologia para produzir protótipos. Vale destacar que o mercado para a indústria de impressão 3D tem se mostrado muito promissor (WOHLERS, 2012).

2.3 Aplicação das impressoras 3D na Construção Civil

A utilização desta tecnologia e as excelentes possibilidades de automação e produção no local, contribui para a diminuição de custos de desperdícios e efeitos poluentes, associado a grande independência de *design* e customização permitida com a otimização estrutural, despertou grande interesse na área da construção civil (LOPES, 2016).

Em 2001, o pesquisador Behrokh Koshnevis da Universidade do Sul da Califórnia, criou a primeira tecnologia de Impressão 3D de Cimento *Portland* (3DCP) intitulada *Contour Crafting* (CC), que constitui na extrusão de concreto em estado pastoso com deposição coordenada por computador (FLORÊNCIO *et al*, 2017).

Posteriormente outras iniciativas surgiram utilizando a 3DCP, motivando a produção de *startups*. Cita-se como exemplos os projetos D-Shape, na Itália, Concrete Printing, no Reino Unido, e o WinSun, na China. Projetos tecnicamente distintos, que utilizam a fabricação digital de peças grandes por sobreposição de camadas de concreto (FLORÊNCIO *et al*, 2017).

O material fundamental que se utiliza para impressão na construção civil devem ser argamassas e concretos, pois o material apresenta características relevantes,

como a formulação para uso específico no bombeamento e extrusão. O traço deve permitir a produção de um concreto com consistência apropriada, baixa fluidez e ser capaz de fluir dentro de tubos ao ser bombeado. O desempenho do material para ser melhorado, pode-se utilizar aditivos de endurecimentos rápido, assim o período de cura diminui (GARDNER *et al.* 2013).

Nos dias de hoje, nas impressoras 3D utiliza-se em especial o concreto em pasta em seu processo, o que não era muito comum nos anos passados. Com o aprimoramento e desenvolvimento dessa tecnologia, surgiu o *Concrete Printing* (3DCP), decorrente da necessidade de expandir o tamanho das impressoras 3D de polímeros convencionais que eram utilizadas nos anos 80 e 90. JOSEPH PEGNA (1997), descreve em seu artigo um método que realiza primeiramente a deposição de camadas finas de areia, que posteriormente são cobertas por cimento e curadas por meio de vapor.

O mesmo autor afirma ainda que o pesquisador Behrokh Koshnevis, da Universidade do Sul da Califórnia deu início a criação da tecnologia 3DCP, conhecida como (Contour Crafiting) – CC (Construção por Contornos). Essa técnica reside sobretudo na extrusão do concreto no estado pastoso que tem sua deposição controlada via software, como mostra a figura 6.



Figura 6 - Casa de Concreto Impressa em 3D.

Fonte: Adaptado de TECMUNDO (2017).

Esse método funciona via bombeamento de concreto localizado em um tanque de armazenamento, a extrusão é realizada por um bico, o mesmo é fixo a um eixo que

é capaz de se movimentar em três dimensões X e Y, comandado por computador (OŽBOLT, *et al.* 2017).

O modelo 3D tem seu desenho feito via *software* de modelagem tridimensional, posteriormente é transformado em camadas por outro *software* denominado *slicer*. O mesmo é responsável por determinar a espessura e quantidade de camadas para o projeto. Então o modelo é transmitido para o *hardware* da impressora 3D, que utiliza o “G-code”, nome dado ao arquivo criado pelo *slicer*, a impressora enfim realiza o levantamento das camadas fisicamente (OŽBOLT, *et al.* 2017).



Figura 7 - Extrusão do Concreto Via Camadas.

Fonte: Adaptado de CIMENTOITAMBE (2017).

Parte importante da tecnologia 3DCP, são materiais relacionados a sua aplicação. Estes materiais são formados de concreto especiais, com características específicas, conforme a necessidade de bombeamento e extrusão, configuradas no software, por meios de bicas (LIM *et al.*, 2012).

Algumas características para que o concreto seja utilizado são consideradas essenciais (LIM *et al.*, 2019; VALKENAERS *et al.*, 2014; PAUL *et al.*, 2016; LABONNOTE *et al.*, 2016; ZIJL *et al.*, 2016).

- Bombeabilidade: O sistema de impressão 3D possibilita a movimentação do concreto;

- Extrudabilidade: Capacidade do concreto ser empurrado através do bico em um fluxo contínuo;
- Tempo de cura controlado: É a capacidade do material de manter as propriedades acima descritas respeitando uma margem de tolerância, após o endurecimento do concreto;
- Edificabilidade: É definida pela resistência que a camada de concreto depositada tem de suportar a carga da próxima camada de concreto sem sofrer grandes deformações.

O estudo sobre as possibilidades de se ampliar a escala das impressoras 3D, contribuiu para o surgimento da impressão 3D em concreto. Este sistema baseia-se no bombeamento de concreto armazenado em um recipiente e utiliza um bico de extrusão acoplado a eixos com movimentação X e Y, controlado por computador.

O mecanismo de impressão fazendo uso de concreto é parecido ao que se utiliza pelas impressoras que usam polímeros. Nos dois casos, o modelo 3D é realizado em um *software* de modelagem tridimensional posteriormente, é transformado em camadas por outro *software* chamado “*slicer*”, que determinará a espessura e quantidade das camadas para todo o modelo (FLORÊNCIO, *et al.* 2016).

A informação do modelo fatiado é dirigida para o *hardware* da impressora 3D a qual irá interpretar o G-code gerado pelo *slicer* e atuar na construção das camadas sobre a superfície escolhida. Um dos benefícios relativos ao uso do concreto como material está na espessura das camadas que possibilitam fabricar modelos grandes em pouco tempo (FLORÊNCIO, *et al.* 2016).

As propriedades essenciais descritas para serem atingidos, os pesquisadores têm testado diferentes variações do tradicional concreto de cimento *Portland*, modificando as proporções da mistura ou agregando aditivos visando buscar determinadas características reológicas ou desejáveis (BOS *et al.*, 2016).

Vale destacar a viabilidade e uma análise completa de todos os materiais utilizados atualmente na composição do concreto para impressão 3D, e todas as características já estudadas e desenvolvidas, tendo em vista fatores relacionados à competitividade do setor e detalhes fundamentais (BOS *et al.*, 2016).

2.4 Benefícios da impressora 3D

Toda essa inovação visa agilizar a construção, o método da tecnologia demanda um tempo de 3 minutos para cada m² para verticalização das paredes. Uma empresa da China, chamada Yingchuang, possui uma impressora de 150 m de comprimento por 10 m de largura e 6,6 m de altura para imprimir casas com alta velocidade e em grande escala. Utiliza-se a mistura de fibra de vidro, cimento, aço, resíduos de construção reciclados e agentes de endurecimento para formar o concreto (WOLFES, 2015).

Segundo Charron (2015) a empresa que utilizou esse método construiu diversas casas, mostrando a relevância das impressoras 3D na Construção Civil conforme as figuras 8, 9, e 10.

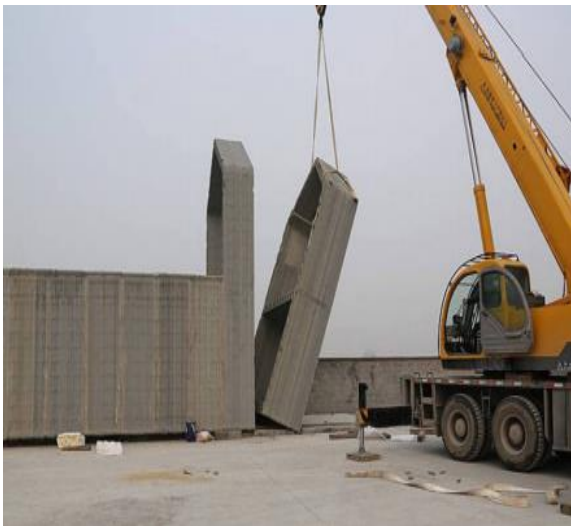


Figura 8 - Transporte das Partes Impressas.
Fonte: CHARRON (2015).



Figura 9 - Casa Vista Internamente.
Fonte: CHARRON (2015).



Figura 10 – Casas impressas
Fonte: CHARRON (2015)

Nota-se, portanto, que com esses números, a construtora, o colaborador e o comprador, sairiam satisfeitos com a agilidade, a praticidade, o custo inicial e o custo final. Assim, a empresa poderia construir muito mais moradias com o custo acessível e com qualidade para a maioria da população que mora de aluguel por não ter condições obter a compra de um imóvel (VARGAS, 1992).

Obras realizadas pelo método convencional, geralmente tem como resultado um desperdício exagerado de recursos, com o tempo e retrabalho devido a falhas ao projetar. Um desperdício devido a mão de obra de baixa qualidade, mal controle dos materiais, a análise de serviços, observação dos riscos na obra ou falta de treinamento, dentre outros. Com o passar do tempo surgem gradativamente inovações tecnológicas, com isso, os serviços ganham maior produtividade e qualidade (OLIVEIRA, 2015).

Nessa perspectiva, ao utilizar a impressora 3D, nota-se a possibilidade de solucionar os problemas referentes a gastos, como recomposições devido ao erro humano. Vale salientar que a exatidão da máquina é transcendente a do trabalhador, ademais, segue o projeto à risca, sem dar oportunidade para ocorrência de erros de interpretação relacionado ao projeto.

Cita-se ainda outra vantagem, que é a redução de ocorrências de acidentes no âmbito de obras. Segundo a Organização Internacional do Trabalho, (OIT) anualmente acontece em torno de 60.000 acidentes na área da construção, resultando em mortes não redor do mundo. Nota-se, portanto, que, na área da Construção Civil, ocorrem vários acidentes fatais. (BARBOSA *et al*, 2012).

Vale ressaltar ainda, que uma construção é composta de várias etapas, com tal tecnologia, tornaria mais simples estipular e manter métodos para análise de riscos ao decorrer da execução de determinada obra. Logo, as lesões seriam menos graves e de menor frequência, sem contar com o contato do trabalhador com ferramentas perigosas, substâncias químicas prejudiciais à saúde, ruídos, dentre outros, será reduzido (BARBOSA *et al*, 2012).

2.5 Custos da Impressão 3D na construção de casas

No ano de 2014 a China demonstrou a grande capacidade da tecnologia de impressoras 3D na área da Construção Civil. Uma empresa denominada WinSun Decoration Design Engineering Co. de Xangai, foi responsável pela criação de um projeto que teve êxito, ao construir casas com 650 m² em somente 24 horas utilizando concreto reciclável, conforme ilustra a figura 11.



Figura 11 - Extrusão do Concreto na China.
Fonte: DIGITALTRENDS (2014).

Neste caso, a impressora mede 32 metros de comprimento, 10 metros de largura e 6,4 metros de altura o que esclarece sua grande capacidade de construção, a máquina foi projetada para construir casas simples, com a utilização de matéria-prima barata e pouca mão de obra (WOLFES, 2015)

Tudo isso tem como intuito o custo final da casa, para ser o menor possível. Nesse processo uma mistura especial de concreto é utilizada, o material é injetado sobre o molde camada por camada, após a secagem das paredes a mesma recebe as portas, janelas e telhados, como mostra nas figuras 12, 13 e 14 (WOLFES, 2015).

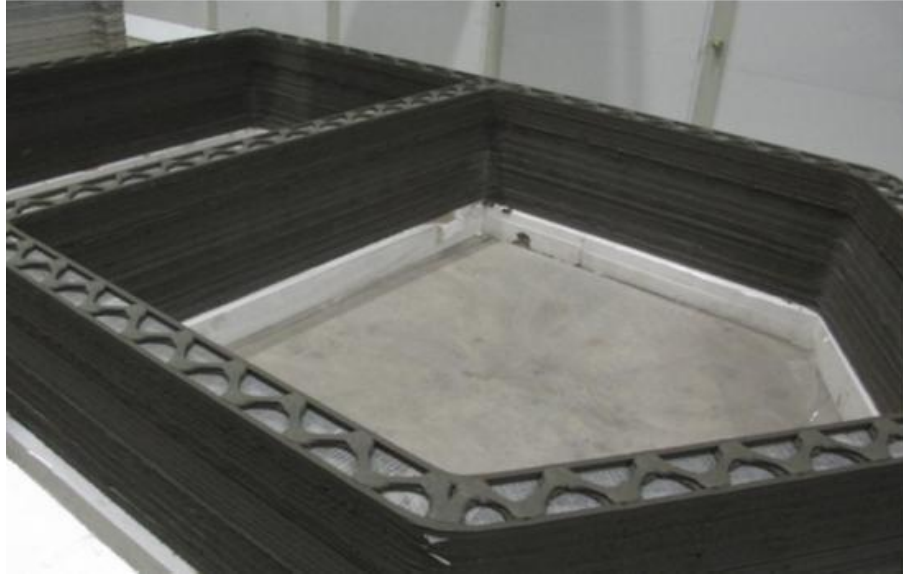


Figura 12 - Moldes de Concreto da China.
Fonte: DIGITALTRENDS (2014).



Figura 13 - Vista Exterior, China.
Fonte: DIGITALTRENDS (2014).



Figura 14 - Vista Frontal, China.
Fonte: DIGITALTRENDS (2014).

Como resultado final, foi obtido casas exemplares e com beleza, porém, o objetivo da empresa chinesa é buscar praticidade e produzir muitas casas em pouco tempo. Funcionando a 100%, a impressora é capaz de produzir em média dez casas com 61,39 m² cada uma, em 24 horas somente. Baseando-se no concreto utilizado a empresa afirma ainda, que cada casa possui um custo em torno de somente US\$ 4.800,00 para produzir e a mão de obra é dispensada (GOGONI, 2014).

Ainda que o produto final fosse super faturado, a casa impressa, seria bem mais acessível que as tradicionais, considerando-se a eliminação dos pedreiros e a velocidade que ficariam pronta. Para terminar a casa basta apenas incluir a instalação de energia elétrica e água. Nessa perspectiva, os custos com moradias melhorariam cada vez mais com o passar do tempo e o desenvolvimento (GOGONI *et al*, 2014).

2.6 Construção de casas por empresas para ex-moradores de rua via Impressão 3D

Segundo Garrett (2020), nos Estados Unidos, uma empresa denominada Icon utiliza a tecnologia de impressoras 3D para realizar projetos de casas de baixos custos. A meta é construir moradia para pessoas de extrema pobreza na cidade de Austin, no Texas e também em comunidades do México.

O projeto teve como objetivo combater o déficit habitacional. A empresa afirma que é possível criar casas com o tempo reduzido à metade do tempo e do custo em

referência a forma tradicional, embora a tecnologia ainda esteja em desenvolvimento, (GARRETT, 2020), conforme mostra a figura 15.



Figura 15 - Casas Icon.
Fonte: Foto divulgação Icon.

Para a realização do projeto utiliza-se uma impressora de 10 metros de altura criada pela própria empresa, a máquina tem a capacidade para criar em menos de 24 horas, todas as paredes de uma residência de pequeno porte. Garrett (2020) afirma que segundo a empresa, a máquina não tem a necessidade de descansar, é eficaz e pode usar materiais de baixo custo para depositar, camada a camada, formando paredes de até 2,5 metros de altura.

As fundações são realizadas de forma convencional, de maneira que o solo seja preparado e a impressora 3D possa começar o trabalho de impressão, com todas as paredes erguidas, os processos de acabamento, encanamento, instalações elétricas, além da montagem do telhado, são realizadas de forma convencional por trabalhadores da construção civil, figura 16 (GARRETT, 2020).



Figura 16 - Extrusão de Concreto Icon.
Fonte: Foto: Divulgação, Icon.

No canteiro de obras em Austin, a impressora é capaz de montar a infraestrutura de três casas simultaneamente. Para isso, a máquina lê um arquivo digital que orienta o movimento das cabeças de impressão, assim como impressoras 3D de menor escala, depositam o material para formar as paredes camada a camada por meio do processo de extrusão. Embora o custo seja baixo, a Icon garante ainda que a casa resultante da impressão tem maior resistência a acidentes naturais, como furacões, que são comuns na região da América do Norte (GARRETT, 2020).

3 APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A tecnologia de impressão 3D tem obtido ênfase em muitos seguimentos. Trata-se de um procedimento de manufatura de produtos sólidos tridimensionais os quais se respalda na adição de material por camadas partindo de um arquivo digital.

Apresenta uma metodologia de produção capaz de criar geometrias complexas utilizando menos material quando comparado aos mais tradicionais meios de fabricação. Este tipo de impressão está sendo comercializada a mais de 30 anos, porém no ramo da construção civil é recente, tendo em vista as dificuldades de se projetar uma impressora de um tamanho suficiente para construir um edifício.

Diversos tipos de impressora tridimensionais foram desenvolvidos, a maneira de execução também é variada. As paredes podem ser criadas *in loco*, com o transporte do maquinário até o local, desenvolvendo a estrutura sem utilizar formas, além da impressora que trabalha com moldes, e aquelas que ficam nas fábricas, que produzem peças que são transportadas até a construção, e são interligadas no local (SILVA, *et al*, 2019).

Vale destacar que, os primeiros passos estão sendo dados na área da construção civil referente a tecnologia da impressão tridimensional. No mundo ocorre estudos de forma contínua para a evolução nessa área, seguido de pesquisas para utilização de matérias biodegradáveis e/ou recicláveis para a construção de casas populares, galpões de abrigo coletivo e pavimentos asfálticos. Os resultados desses estudos demonstram as mudanças no cerne do gerenciamento, nas estruturas e de processos, e as necessidades atuais da população são reconhecidas e resolvidas com um custo mais baixo.

O uso da impressora 3D viabiliza melhorias na produtividade referente a contenção do desperdício, considerando-se a quantidade exata do material que o produto exige. A versatilidade de *design*, possibilita aos projetistas desenvolverem infraestruturas que não são fáceis de serem produzidas, com a utilização de práticas atuais de construção (SILVA, *et al*, 2019).

Outro item de grande relevância é a redução da mão de obra, pois o processo de impressão 3D é automatizado, o que reduz de forma significativa a mão de obra intensiva. Quanto ao tempo de construção, também apresenta redução expressiva, ao utilizar a impressão 3D. Um exemplo que pode ser citado é o período para a construção de uma parede estrutural, houve uma redução de 35% ao utilizar a

impressão 3D, em comparação com a construção no modo tradicional (BUSWELL *et al.*, 2007).

A inovação tecnológica apresentada nas áreas de projeto e para a Construção Civil têm avançado gradativamente devido ao rápido desenvolvimento da área da computação. As novas técnicas estabelecem novos desafios e novas ferramentas são criadas, assim, tem sido possível o uso de modelos geométricos digitais para produzir artefatos físicos, como maquetes em escala e protótipos em tamanho real inclusive peças finais.

Na área da Construção Civil, o processamento tridimensional tem se tornado padrão em diversos procedimentos, como a prototipagem acelerada e a fabricação digitais aliadas a novos desafios projetais. Tem-se como benefícios colaborar para a compreensão espacial, assim como o caminho para confeccionar modelos rapidamente prototipados, causando um enorme impacto quando inicia o processo de projeto do edifício até a sua construção (MITCHELL; McCULLOUGH, 1995).

Nos dias de hoje, geralmente as empresas investem em inovações, visando destaque no mercado competitivo tendo em vista a era tecnológica, visando uma de produção mais favorável. Nessa perspectiva de avanço contínuo, a impressora 3D surgiu, uma ferramenta que permite manufaturar em camadas aditivas moldes de peças sólidos partindo de desenho digital elaborado em CAD.

Com o passar do tempo e evolução da impressora se destacou no mercado, pelas inúmeras possibilidades de aplicação para imprimir vários objetos em diversos segmentos desde ferramentas industriais inclusive em próteses na área da medicina, suprimindo com grande potencial a cadeia de abastecimento global. As implicações da impressão tridimensional são muito significativas, conforme pesquisa do Instituto Global Mckinsey (2014), sugere previsão de que US\$ 550 bilhões gire no ano em 2025.

Ainda está na fase inicial no Brasil o uso da impressora 3D, tem sido voltada somente para criação de maquetes arquitetônicas ou estruturais, em razão do valor elevado de equipamentos e pela necessidade de mão de obra especializada. Em Curitiba, engenheiros já desenvolvem tecnologia nacional, acreditando na relação de custo-benefício para tentativa de ganhar espaço no mercado.

Segundo a empresa Buildin Construções e Informações (2019) a construção 3D, baseada em impressão 3D, tem capacidade de mudar a maneira de se construir. Existe uma expectativa enorme referente ao que a tecnologia inovadora da impressão

3D contribui expressivamente para reduzir o *déficit* habitacional no Brasil e no mundo. Essa tecnologia é também conhecida como manufatura aditiva, no Brasil se encontra ainda na fase embrionária.

A potencialidade de aplicação da impressão tridimensional na construção é imensa, existe uma grande probabilidade de modificar radicalmente a maneira de se executar as obras habitacionais. Uma das *construtechs* que trabalham para o crescimento desse mercado é a *InovaHouse 3D*.

Em 2015 a engenheira Juliana Martinelli, fundadora da InovaHouse3D, teve uma ideia bastante desafiadora. Sua primeira intenção foi desenvolver a primeira impressora 3D para a Construção Civil da América Latina. Juliana se uniu a outros colegas, juntaram recursos que possuíam para desenvolver um protótipo daquilo que futuramente viria ser a impressora 3D para a construção.

O objetivo da equipe era aumentar a produtividade no setor partindo da aplicação intensiva de tecnologia com alto potencial disruptivo. Em um primeiro momento, a empresa foi acelerada pela ACE – Aceleradoras de Startups e Inovação Corporativa, de São Paulo. Posteriormente, a InovaHouse entrou numa fase de reestruturação interna e de conceitos para inserir seu produto no mercado (BUILDIM, 2019).

Segundo Buildim (2019) no Brasil a InovaHouse3D é pioneira no estudo da manufatura aditiva no setor da construção. De acordo com a *startup* brasileira, existem muitos benefícios que a construção 3D oferece aos processos construtivos. A Engenheira Juliana aponta os seguintes:

- Atuação mais produtiva do setor de construção civil, com ganhos de escala para resolver o problema do déficit habitacional de mais de 7 milhões de residências;
- Menos acidentes de trabalho devido à menor dependência de mão de obra;
- Maior liberdade para o projeto de arquitetura;
- Maior controle sobre recursos;
- Menos desperdício na construção civil;
- Potencial para aplicação em locais que passaram por catástrofes e que necessitam ser reconstruídos rapidamente.

A fundadora da InovaHouse3D comenta ainda os desafios à implantação da construção 3D no Brasil que é integrar a nova tecnologia no mercado. Isso porque ainda não há uma metodologia construtiva completamente definida.

3.1 Utilização de Impressora 3D para produção de unidades habitacionais populares

Nos Estados Unidos a organização chamada New Story, em parceria com a ICON, trabalha com a visão de melhorar as condições de vida de pessoas e é provedora de tecnologias voltadas para a construção civil. Assim, edificou o primeiro protótipo de casa através da tecnologia de impressão aditiva (NEW STORY, 2017).

Projetada para reduzir o déficit habitacional mundial que, segundo a New Story, é de 1,3 bilhão de pessoas, a casa, que varia de 56 a 74 m² é construída através da impressora Vulcan, figura 17, criada pela ICON, que utiliza a técnica de Contour Crafting. A Vulcan possui 6 metros de largura, 3 metros de altura, sem limite de comprimento, é construída sobre trilhos, podendo ser adaptados ao projeto (NEW STORY, 2017).



Figura 17 - Impressora Vulcan da ICON.
Fonte – (ICON, 2017).

Constrói-se o protótipo com uma argamassa especial de grande resistência, que atingiu o tempo de somente 24 horas para ser concluído, o custo foi cerca de 4 mil dólares, e contou com 4 funcionários. Segundo a ICON, a casa impressa em 3D, ilustrada na figura 18, sua durabilidade é tanto quanto ou mais do que as casas construídas padrão da Unidade de Alvenaria de Concreto (CMU). As casas são

construídas conforme o código estrutural do Código Internacional de Construção (IBC). A expectativa é de que a New Story construa 100 casas em uma comunidade de El Salvador, ainda no segundo semestre de 2019 (NEW STORY, 2017).



Figura 18 - Casa Impressa em 3D.
Fonte: (ICON, 2017).

Em 2012, na Europa, a empresa italiana Centro Sviluppo Progetti (CSP), criou o World's Advanced Saving Project (WASP), um projeto para criar soluções sustentáveis, assim iniciou uma impressora 3D com capacidade para construir casas. Como resultado do projeto foi a BigDelta, a maior impressora 3D do mundo, ilustrada na figura 19, com 12 metros de altura e 7 metros de largura, equipados com braços de 6 metros.

A BigDelta funciona a 220 volts, podendo operar a 60 volts, devido aos motores que foram projetados para serem alimentados por painéis solares (3DWASP, 2012).



Figura 19 - A Impressora BigDelta.
Fonte: (3dwasp, 2012).

A primeira casa construída pela BigDelta, ilustrada na figura 20, possui 5 metros de diâmetro e 2,70 metros de altura, e levou aproximadamente 2 dias para ser concluída.



Figura 20 - Etapa Produção de Casa Utilizando a BigDelta.
Fonte: (3dwasp, 2012).

A casa utilizou 2 metros cúbicos de água e 200kWh de energia e o custo da construção foi de somente 48 euros. A empresa ainda estimou que, caso a matéria prima fosse misturada com os pés e não utilizar a máquina, o custo com energia (67% do custo total da obra), reduziria 90% (3DWASP, 2012).

A China foi pioneira a utilizar a impressão 3D na construção de casas, escritórios e até prédios, a WISUN, empresa chinesa do ramo de construção civil utiliza o método de Contour Crafting para a elaborar sua construção.

A WISUN utiliza uma impressora que custou 3,2 milhões de dólares e possui 6,6 metros de altura, 10 metros de largura e 40 metros de comprimento e permanece fixa na fábrica da empresa. No local, cada detalhe da casa é impresso com a ajuda de apenas 3 funcionários, que são transportados até a localidade da obra como se fosse uma peça pré-moldada, é encaixada conforme o projeto, como mostra a figura 21 (3DWASP, 2012).

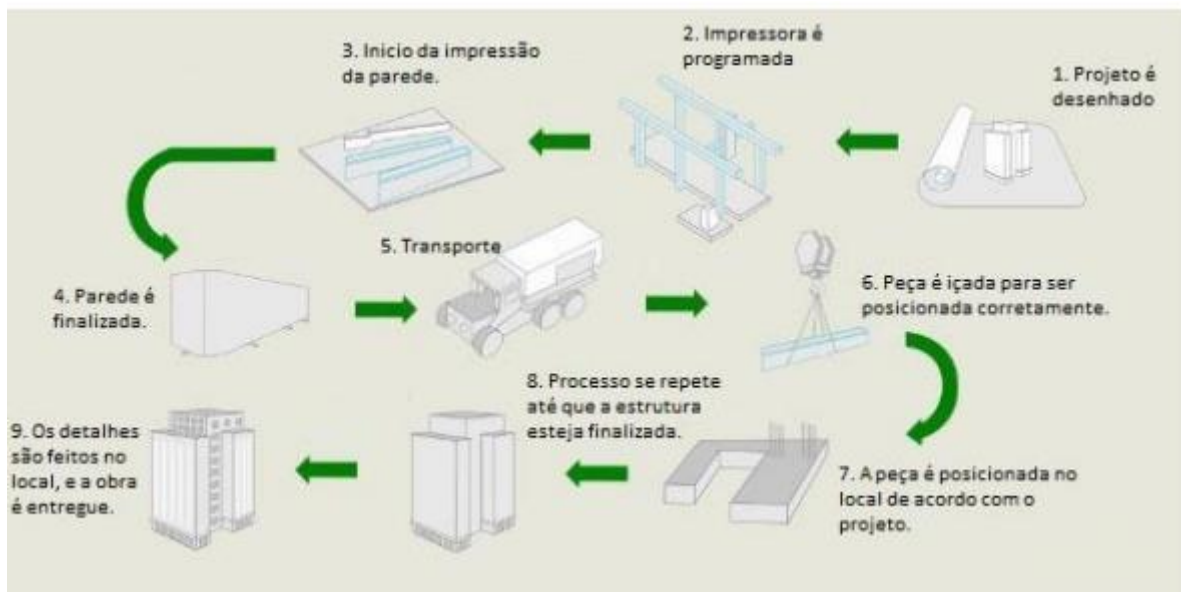


Figura 21 - Método de Produção da WISUN.

Fonte: (WISUN, 2018).

Segundo a WISUN, 50% da sua matéria prima tem como origem rejeitos de obras e mineradoras. Processa-se o rejeito, misturado com fibra de vidro e um material aglutinante, criando um material denominado Crazy Magic Stone. A empresa em 2014 utilizou seu sistema de produção e construiu uma vila com 10 casas num período de 24 horas. Foi a primeira empresa a construir um prédio de 6,6 metros de altura, 10 metros de largura e 40 metros de comprimento, como mostra as figuras 22 e 23 (QUEIROGA, 2019).



Figura 22 - Casa Construída pela WISUN.
Fonte: WISUN, 2016.



Figura 23 - Prédio Construído pela WISUN.
Fonte: WISUN, 2016.

No Brasil a Inovahouse3D, *startup* idealizada pela Universidade Federal de Brasília – UNB se tornou a primeira startup da América Latina a estudar a aplicabilidade de manufatura aditiva dentro do setor da construção civil. Até este momento é embrionária, mas no Brasil, já é referência. A empresa em 2016 criou um protótipo do que seria a impressora, para que, em 2017, o produto final, uma impressora de larga escala, demonstrada na figura 24, fosse criada (QUEIROGA, 2019).



Figura 24 - Impressora da Inovahouse3D em atuação.
Fonte: Inovahouse3D, 2019.

5 CONCLUSÃO

Com o estudo realizado, conclui-se que o avanço na tecnologia contribui para o crescimento do país e a Impressão 3D pode ser utilizada em diversos seguimentos, e em todos contribui para o ganho de tempo, redução de custos, dentre outros benefícios.

Essa tecnologia agrega diversos benefícios para a Construção Civil, como a redução no gasto com matéria prima, dado que utiliza somente a quantia necessária para cada impressão. Atualmente há várias formas de imprimir e todas as existentes são aditivas, divergindo principalmente na forma como as camadas são construídas nos diversos tipos de impressão 3D.

Torna-se evidente, portanto, que na área da Construção Civil, foco deste estudo, a utilização dessa ferramenta por ser uma inovação, vai de encontro ao conservadorismo. Países como Estados Unidos, Europa e China já utilizam a impressão 3D na área da Construção Civil, no Brasil, apesar desta tecnologia estar presente, ainda é embrionária.

Com base nas pesquisas e levantamentos feitos sobre o tema em questão, pode-se afirmar que o uso de impressoras 3D no âmbito brasileiro é uma realidade distante, pois se trata de uma inovação como custo para aquisição elevado.

Mas é necessário ter uma visão inovadora, pois é fundamental implementar um equipamento como a impressora 3D que para muitos ainda é uma descoberta, contudo para aqueles que visão a melhoria e precisão na Construção Civil, já faz parte de um processo quanto ao investimento de um equipamento desse nível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D WASP, Home, 2012. Disponível em:< <https://www.3dwasp.com/>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

BARBOSA, A et al. **Segurança e saúde na Indústria da construção no Brasil: Diagnóstico e Recomendações para a Prevenção dos Acidentes de Trabalho**. Sesi – Departamento Nacional, Brasília, 2012.

BARROSO V. B. et al. **Construções De Concreto Impressas Em 3d: Uma Revisão Bibliométrica**. 2019. 46 f. Disponível em: <[file:///C:/Users/Pichau/Desktop/TCC%2010%C2%B0%20Per%C3%ADodo/artigos%20enviados%20no%20teams/Constru%C3%A7%C3%B5es%20de%20concreto%20i mpresas%20em%203D%20-%20Uma%20revis%C3%A3o%20bibliom%C3%A9trica%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Pichau/Desktop/TCC%2010%C2%B0%20Per%C3%ADodo/artigos%20enviados%20no%20teams/Constru%C3%A7%C3%B5es%20de%20concreto%20i mpresas%20em%203D%20-%20Uma%20revis%C3%A3o%20bibliom%C3%A9trica%20(1).pdf)>.

BOS, F.; WOLFS, R.; AHMED, Z.; SALET, T. **Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing**. Virtual and Physical Prototyping, v.11, n.3, p.209-225, 2016.

BUILDIN Construções e Informações (2019). **Conheça a startup que aposta na construção 3d**. Disponível em <https://www.buildin.com.br/startup-construcao-3d/>. Acesso em 20 set. 2020.

BUSWELL, R.; SOAR R.; GIBB A.; THORPE A. **Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction**. In: Automation in Construction 16, 2007, p.224–231.

CHARRON, K. **WinSun China builds world's first 3D printed villa and tallest 3D printed apartment building**. 3Ders.com, 2015.

CIÊNCIAS E SAÚDE. **Coração é impresso em 3D a partir de tecido humano**. Disponível em < <https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2019/04/15/coracao-e-impresso-em-3d-a-partir-de-tecido-humano.ghtml>>. Acesso em 10 ago.2020.

FARIAS, J. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Método Construtivo Light Steel Framing numa Residência Unifamiliar de Baixa Renda**, Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2013.

FLORÊNCIO, E. Q.; QUINTELA, I. P. C. P.; SEGUNDO, D. B. F. **O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura**. SIGraDi 2016, XX Congresso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital 9-11, November, 2016 - Buenos Aires, Argentina

FLORÊNCIO, E. Q.; MARQUES, L. M. E. B.; CORSO, P.; LIMA, T. A. A.; UCHÔA, S. B. B. **Concreto para uso em Impressora 3D e sua utilização na construção de edificações**: um estudo prospectivo. Cadernos de Prospecção, Salvador, v. 10, n. 3, p.578-589, 30 set. 2017.

GARRET, F. **Empresa constrói casas para ex-moradores de rua via Impressão 3D**. TechTudo, 2020. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/03/empresa-constrói-casas-para-ex-moradores-de-rua-via-impressao-3d.ghtml>. Acesso em: 31 de maio de 2020.

GARDNER, M., ALWI, A., KARAYIANNIS, S. **Construktion, MegaScale 3D Printing**. University of Surrey, 2013.

GEOCIÊNCIAS. **Censo 2010: 11,4 milhões de brasileiros (6,0%) vivem em aglomerados subnormais**. Agência IBGE notícias. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14157-asi-censo-2010-114-milhoes-de-brasileiros-60-vivem-em-aglomerados-subnormais>>. Acesso em:01/09/2020

GLADYS, I. K. T. **A industrialização da construção com terra através da Impressão 3D**. MBA em Gestão de Obras e Projetos. (UNISUL). Disponível em file:///C:/Users/User/Downloads/1651-5255-1-PB%20(1).pdf. Acesso em 05 set. 2020.

GOGONI, R. **Impressora 3D gigante é capaz de produzir dez casas por dia**. meibot, 2014. Disponível em: <https://meibot.com/285087/china-impressora-3d-produz-dez-casas-650-metros-quadrados-por-dia/#:~:text=Impressora%203D%20gigante%20utiliza%20concreto,US%24%204.800%2C00%20cada!&text=A%20impress%C3%A3o%203D%20est%C3%A1%20mais%20do%20que%20difundida%20hoje%20em%20dia>. Acesso em: 15 de junho de 2020.

LIM, S. *et al.* **Developments in construction-scale additive manufacturing processes**. Automation in Construction. n.21, p. 262-268, 2012.

LOPES, G. T. F. **Exploração das possibilidades da Impressão 3D na construção**.2016. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2016.

MENEZES, M. **Plataforma CAD para elaboração de projetos e gerenciamento e controle de Impressão 3D com ênfase na Construção Civil**. Rio Verde, 2020. 60 p. Monografia (em Engenharia Civil) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

MITCHELL, W.; McCULLOUGH M. **Digital Design Media**. N. York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

MODO, G. **A maior impressora 3D de formato livre do mundo está construindo casas**. institutodeengenharia.org.br. 03/08/2015. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2015/08/03/a-maior-impressora-3d-de-formato-livre-do-mundo-esta-construindo-casas/>> Acessado em: 02/06/2020.

NAKAMURA, J. **Minha casa minha vida**: como funciona o programa. <https://www.buildin.com.br/>. 04/07/2019. Disponível em: <<https://www.buildin.com.br/minha-casa-minha-vida/>> Acessado em: 02/06/2020.

NEW STORY, 2017. Disponível em: < <https://newstorycharity.org/3d-community/> > Acessado em 08/09/20.

OLIVEIRA, T. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações**. Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2015.

OŽBOLT, J.; ORŠANIĆ, F.; BALABANIĆ, G. **Processos de modelagem relacionados à corrosão de armaduras em concreto: modelo de elementos finitos 3D acoplados**. Engenharia de Estrutura e Infraestrutura, v. 13, n. 1, p. 135-146, 2017.

PORTO, T. M. S. **Estudo dos avanços da tecnologia de Impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil, Rio de Janeiro/ PORTO, T. M. S. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016. XI, 80p.

SILVA, A. M. DA.; FERREIRA, A. S. F.; SILVA, I. O. DA.; MAIA, S. O.; FARIA, R. N. P. DE. **Impressão 3D na Construção Civil**. VI Jornada Interdisciplinar de Engenharia Civil. 2019.

SILVEIRA, D. P. **Como funciona e como surgiu a impressora 3D?**. 2016. Disponível em: Acesso em: 24 abril. 2020.

VARGAS, N. **Tendências de mudanças no processo de trabalho na construção civil**. In: Anais Padrões Tecnológicos e políticas de Gestão, 1992.

WOLFES, R. **3D Printing of Concrete Structures. Graduation Thesis**, Eindhoven University of Technology, 2015.

WOLFES, R. **3D Printing of Concrete Structures. Graduation Thesis**, Eindhoven University of Technology, 2015.

QUEIROGA, V. L. **Uso da impressão 3D na produção de unidades habitacionais de baixa renda**. Projeto de Graduação. UFRJ. Escola Politécnica, 2018. VII, 112 p.: il.; 29,7. Curso de Engenharia Civil, 2019.