

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MAYARA CAROLINI DA SILVA**

**IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**Santos - SP  
Maio de 2019**

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MAYARA CAROLINI DA SILVA**

**IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheira Civil à Faculdade de Engenharia da Universidade Santa Cecília, sob orientação do Professor Me. Orlando Carlos Batista Damin.**

**Santos - SP  
Maio de 2019**

MAYARA CAROLINI DA SILVA

**IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheira Civil à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Santa Cecília.

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Professor Me. Orlando Carlos Batista Damin  
Orientador

---

Professor Sydney Augusto dos Santos

---

Professora Ma. Rosana, Alo Maluza Braga

## DEDICATÓRIA

A  
*Meus pais, meu irmão, minhas cachorras e todos que estiveram comigo durante toda esta jornada de aprendizado e estudos.*

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por ter me dado sabedoria, saúde e principalmente forças para superar as dificuldades.

Ao **Meus pais e irmão**, pelo amor, incentivo, dedicação e apoio incondicional.

A **Universidade Santa Cecilia**, pela oportunidade de fazer o curso e pelo ambiente criativo e amigável que proporciona.

Ao **Professor Me. Orlando Carlos Batista Damin**, pela orientação, suporte, incentivo e correções.

A todos os **professores** por me proporcionar conhecimento para o processo de formação profissional.

A **amigos**, companheiros de faculdade e de vida que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes na minha jornada de trabalho e novos estudos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Muito obrigada,  
Mayara Carolini.

Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível.  
(Charles Chaplin)

## RESUMO

Historicamente a Impressão 3D surgiu em 1984, sendo a primeira impressão funcional a vapor feita por Chuck Hull, um engenheiro físico norte-americano do estado da Califórnia, em 1984. Consiste na criação de um modelo tridimensional digital, projetado por computador, através da deposição de camadas de um determinado material, que se vão sobrepondo até obter fisicamente o modelo concebido. As formas tridimensionais são aquelas que têm três dimensões - comprimento, largura e altura. Enquanto quadrados, triângulos, retângulos, círculos são formas bidimensionais. Essas figuras podem ser ocas ou não. Na revolução industrial, esse tipo de tecnologia foi incluído na 4ª Revolução Industrial. Reunia uma série de inovações tecnológicas reduzindo os tempos de protótipos, na fabricação de ferramentas e máquinas. Na construção civil trouxe grandes benefícios, como customização em massa, redução de tempo de construção e de mão de obra. Esta monografia teve como objetivo estudar a tecnologia 3D e todo seu potencial para apresentar os avanços nas impressoras e as tendências para os próximos anos. Sua utilização e seus resultados esperados nos projetos já executados com a tecnologia 3D, como inovação criada na indústria da construção civil, nos projetos de execução de paredes de concreto nas habitações padronizadas em projetos de para famílias de baixa renda, quanto para construções de arquitetura complexa e elaborada. Utilizam-se o método Hipotético-dedutivo através de pesquisa Bibliográfica, obtendo-se resultados qualitativos e quantitativos. Desta forma formulou-se a conclusão obtendo diversas impressoras 3D com ótimos resultados, como, concreto impresso e aplicações realizadas para construção de casas, prédios, pontes e entre outras utilidades.

Palavras chaves: Impressora 3D; construção civil; indústria 4.0; tecnologia.

## ABSTRACT

Historically, 3D Printing came into being in 1984, the first steam-powered print made by Chuck Hull, a North American physicist from the state of California in 1984. It consists of the creation of a computer-designed three-dimensional digital model through deposition of layers of a certain material, which overlap until physically obtain the designed model. The three-dimensional shapes are those that have three dimensions - length, width and height. While squares, triangles, rectangles, circles are two-dimensional shapes. These figures can be hollow or not. In the industrial revolution, this type of technology was included in the 4th Industrial Revolution. It brought together a series of technological innovations reducing prototype times in the manufacture of tools and machines. In civil construction it brought great benefits, such as mass customization, reduction of construction time and manpower. This monograph aimed to study 3D technology and all its potential to present advances in printers and trends for years to come. Its use and its expected results in projects already executed with 3D technology, such as innovation created in the construction industry, projects of execution of concrete walls in housing standardized in projects for low income families, and for complex architecture constructions and elaborated. The Hypothetical-deductive method is used through Bibliographic research, obtaining qualitative and quantitative results. In this way the conclusion was obtained obtaining several 3D printers with great results, such as, printed concrete and applications made for construction of houses, building, bridges and among other utilities.

Keywords: 3D printer; construction; industry 4.0; technology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Integração da Indústria 4.0 .....	16
Figura 2 - Tecnologias digitais listradas .....	17
Figura 3 - Uso de tecnologias digitais .....	18
Figura 4 - Representação esquemática do funcionamento de Impressora 3D. ....	20
Figura 5 - Exemplo de triângulos inadequados .....	21
Figura 6 -Exemplo de problema encontrado em objetos fabricados pela impressora 3D. ....	21
Figura 7 - Representação esquemática de processo FDM (CUNICO, 2015).....	23
Figura 8 - Representação Generalizada de processo de Estereolitografia. ....	25
Figura 9 - Representação genérica da tecnologia IJP de fotopolimerizáveis.....	26
Figura 10 - Representação de princípio de funcionamento de processo LOM. ....	26
Figura 11 - Ilustração esquemática dos processos de SLS. ....	28
Figura 12 - Ilustração esquemática do processo de impressão 3D. ....	29
Figura 13 - Exemplos de maquetes de edifícios (a) e escultura (b). ....	30
Figura 14 - Principais etapas do processo na construção de biomodelos (a) e exemplo de próteses (b) e implantes (c). ....	31
Figura 15 – Representação sistema de Contour Crafting.....	34
Figura 16 - Conjunto de bocal (a) e Parede impressa (b).....	34
Figura 17 - Comparação da Coutour Crafting x Construção Convencional .....	35
Figura 18 - Experiência construída através da Concrete Priting.....	35
Figura 19 - Representação do funcionamento do sistema D-shape. ....	36
Figura 20 - Empenamento de peça fabricada por processo de FDM (CUNICO, 2015). ....	37
Figura 21 - Comparação entre tecnologias de impressão. ....	40
Figura 22 - Modelos de referência.....	42
Figura 23 - Ponte impressa em 3D na China.....	45
Figura 24 - Blocos de concreto impressos. ....	45
Figura 25 - Estrutura da impressora 3D Vulcan.....	46
Figura 26 - Detalhes de uma casa impressa com a Vulcan (Tectudo, 2018). ....	47
Figura 27 - Casa Feita com impressora 3D Vulcan .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS

3D – Três Dimensões

3DP – *3D Printing* (Impressão 3D)

CAD – *Computer-aided design*

CC – *Contour Crafting*

D-SHAPE – *Large Scale Cement Printer*

FDM – *Fused Deposition Modelling* (Fusão e deposição de materiais)

IJP – *Inkjet Print* (Jato de tinta)

LOM – *Laminated Object Modelling* (Modelagem de objetos laminados)

SLA – *StereoLitrography* (Estereolitografia)

SLS – *Selective Laser Sintering* (Sinterização Seletiva a Laser)

STL – *Stereolithography Tessellation Language*

UV – Radiação Ultravioleta

$\mu\text{m}$  – Nanômetro ( $1 \times 10^{-9}$  metros)

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVO DO TEMA.....	13
<b>1.1.1.</b>	<b>Objetivo Geral: .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2.</b>	<b>Objetivo Específico:.....</b>	<b>13</b>
1.2	HIPÓTESES .....	13
1.3	METODOLOGIA.....	13
2.	4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	15
2.1	REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	15
2.2	INDÚSTRIA 4.0 OU 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	15
2.3	INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL.....	17
2.4	INDÚSTRIA 4.0 NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	18
3.	IMPRESSORA 3D .....	20
3.1	PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DA IMPRESSORA 3D.....	22
<b>3.1.1.</b>	<b>Funcionamento Da Impressora .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>Tecnologia A Base De Fusão E Deposição (Extrusão).....</b>	<b>23</b>
<i>3.1.2.1.</i>	<i>Tecnologia A Base De Polímeros Líquidos .....</i>	<i>24</i>
<i>3.1.2.2.</i>	<i>Estereolitografia (Sla) .....</i>	<i>24</i>
<b>3.1.3.</b>	<b>Impressão Jato De Tinta (Ijp) .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.4.</b>	<b>Tecnologia A Base De Sólidos Laminados.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.5.</b>	<b>Tecnologia A Base De Pó.....</b>	<b>27</b>
<i>3.1.5.1.</i>	<i>Sinterização Seletiva A Laser (Sls).....</i>	<i>27</i>
<i>3.1.5.2.</i>	<i>Impressão 3d (3dp) .....</i>	<i>28</i>
3.2	APLICAÇÕES EM OUTRAS ÁREAS .....	29
<b>3.2.1.</b>	<b>Design E Arquitetura .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Saúde.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Projetos E Engenharia .....</b>	<b>32</b>

4.	IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	33
4.1	CONTOUR CRAFTING.....	33
4.2	CONCRETE PRITING .....	35
4.3	LARGE SCALE CEMENT PRINTER .....	36
5.	ANÁLISE COMPARATIVAS DAS TECNOLOGIAS.....	37
5.1	TECNOLOGIAS EM GERAIS.....	37
5.2	ANÁLISE COMPARATIVA DA TECNOLOGIA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL..	38
6.	EXPERIÊNCIAS DA IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	41
6.1	PROTÓTIPOS FÍSICOS .....	41
	<b>6.1.1. Protótipos Físicos Para Fins Didáticos .....</b>	<b>41</b>
	<b>6.1.2. Protótipos Para Detalhes Construtivos Complexos E Na Produção De Maquetes</b>	<b>42</b>
6.2	EXEMPLOS DE EDIFICAÇÕES.....	43
	<b>6.2.1 Edifícios Construídos Com A Montagem De Partes Impressas .....</b>	<b>43</b>
	<b>6.2.2 Pontes Com Impressão 3d.....</b>	<b>44</b>
	<b>6.2.3 Casas Com Impressão 3d .....</b>	<b>46</b>
	<i>6.2.3.1 como As Casas São Feitas? .....</i>	<i>46</i>
7.	CONCLUSÃO.....	48
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

Através dos avanços tecnológicos no século XXI, as indústrias aprimoram cada vez mais a sua produção robótica, o que ocasiona em aumento da oferta de produtos e melhora da qualidade dos trabalhos do cotidiano. Essa padronização dos processos foi fundamental para o aumento da eficiência do trabalho. Tais modificações na cadeia produtiva estão relacionadas com a indústria 4.0.

Entretanto, a construção civil, no que tange aos avanços provenientes da indústria 4.0, não acompanha o ritmo de inovação comparado as áreas de informática, medicina e automobilística, sendo que ainda construímos paredes com atividade braçal.

Por meio de estudos pelo Censo do IBGE 2010, o total de 6329 famílias vivem em favelas, invasões, grotas, baixadas, comunidades, vilas, ressacas, mocambos, palafitas, entre outros assentamentos irregulares para o conjunto do País (IBGE 2010). A concentração das famílias mostra a desigualdade social e falta de saneamentos, energias, transportes e lazer contribuindo para doenças e crimes nessas áreas. Para Khoshnevis (2004), essas pessoas necessitam de uma forma de construção mais rápida do que as tradicionais.

No decorrer deste cenário estuda-se a possibilidade de construção pela impressora 3D, um processo de fabricação com camadas impressas sobrepostas para criar um sólido 3D a partir de um modelo digital desenhado no AutoCAD, trazendo grandes benefícios, como termos de customização em massa, redução do tempo de construção e de mão de obra.

Portanto, diversas experiências globais mostram que é possível construir residências e edifícios de concreto com o auxílio da impressora 3D ajudando cada vez mais a sociedade e o cotidiano dos trabalhadores.

“Cada vez mais as impressoras 3D estão ganhando espaço no mercado e, no que diz respeito à construção civil, não é diferente. Atualmente, casas e prédios já foram construídos inteiramente por impressoras 3D e a tendência é que isso se torne algo mais comum.” (Betiatto, 2016)

## 1.1 OBJETIVO DO TEMA

### 1.1.1. Objetivo Geral:

Realizar estudos sobre a indústria 4.0 e a impressora 3D na construção civil. O método pode ser aplicado nas construções de habitações padronizadas, de arquitetura complexa e de maquetes de edificações.

### 1.1.2. Objetivo Específico:

Estudar a Indústria 4.0 e seus benefícios.

Apresentar a tecnologia 3D e todo o seu potencial para a mudança na indústria da construção civil, as aplicações em outras áreas e tendências da impressora 3D.

Analisar a prática da impressora 3D na construção civil e os projetos de execução de paredes de concreto que utilizem a impressora.

## 1.2 HIPÓTESES

Quais são os materiais de construção civil fabricado pela impressora 3D?

Quais são as aplicações usadas na construção civil?

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia classificada como pesquisa Hipotético-dedutivo, sendo pesquisado em dissertações de mestrados e livros.

A monografia teve por início pesquisas sobre revolução 4.0 e a história da impressora 3D, após estas apurações foram realizadas pesquisas sobre impressora 3D na construção civil, para finalizar a monografia foram pesquisadas a prática da impressora 3D na construção civil.

Para essas pesquisas serem concluídas, foram baseadas em sites e livros de tecnologias, como por exemplo o livro de Marlon Cunico sobre a impressora 3D e sites com reportagem sobre a tecnologia inovadora.

## 2. 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

### 2.1 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Uma revolução industrial acontece devido ao avanço tecnológico, caracterizado por mudanças radicais e bruscas na sociedade criando distúrbios sociais, econômicos e políticos.

Mas, na essência, revolução industrial se refere a um conjunto de tecnologias que aumentaram drasticamente a produtividade dos seres humanos, provendo uma série de mudanças, na longevidade, na qualidade de vida, nas concentrações populacionais e no crescimento demográfico. (ANDERSON, 2012)

A primeira revolução industrial aconteceu na Inglaterra no século XVIII. Significou a mudança do trabalho artesanal pelo assalariado e uso de máquinas a vapor e linhas férreas, o que impulsionou o crescimento da indústria têxtil e de ferro. Na primeira revolução industrial foram inventadas por Thomas Newcomen, Robert Fulton, George Stephenson diversos tipos de máquinas a vapor. A partir desta revolução houve um grande salto econômico que transformou o modo de vida das populações, dando acesso a bens industrializados.

A segunda revolução industrial ocorreu no final do século XIX e início no século XX, foi marcada por grandes avanços tecnológicos, surgimento da energia elétrica, uso de motor e explosão por meio do petróleo, que deu origem a meios de transportes de navios e trens. Foram inventados processos de fabricação de aço para uso na construção civil, lâmpada incandescente, invenção do avião, automóvel, antibióticos e vacinas.

A terceira revolução industrial foi iniciada no final do século XX. Referiu-se as transformações profundas no meio produtivo, bem como o uso de eletrônicos e da informática para modernizar as indústrias. Nesta revolução foi inventada a internet, celulares, tablet, notebook, uso da energia atômica para produção e eletricidade na medicina, novas ligas metálicas para avanços da metalurgia e construções de transportes mais modernos.

### 2.2 INDÚSTRIA 4.0 OU 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Através de grandes desenvolvimentos e difusão de tecnologias da 3ª revolução industrial acredita-se que estamos entrando em uma nova era, chamada indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial.

Criada pelos alemães na feira de Hannover, adquirindo outras nomenclaturas como *Smart Factory* (Fábricas inteligentes), A internet das coisas industriais, indústria inteligente ou produção avançada. É representada pelo progresso tecnológico relacionado a digitalização e inovação, unindo a automação e tecnologia da informação.

As fábricas na indústria 4.0 tem capacidade de agendar manutenções e prever falhas, com a finalidade de decidir, adequar processos e adaptar as mudanças durante o processo de produção.

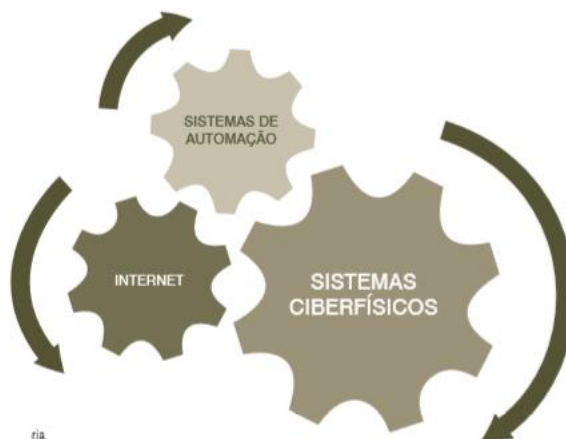
A indústria 4.0 tem como base tecnológica a composição de Sistemas cibernéticos, Internet das Coisas, Big Data, Impressão 3D, Computação em nuvem, inteligência artificial e realidade aumentada. Grandes transformações estão relacionadas com o avanço de novas fontes de energia renováveis, smart grid e veículos autônomos.

Mudanças no mundo industrial podem ser observadas, dentre elas o avanço na capacidade dos computadores, grande quantidade de digitalização e estratégias inovadoras. Da mesma forma que trouxeram mudanças, grandes benefícios estão sendo incorporados ao processo produtivo, como economia de energia, fim do desperdício, redução de erros e custos, aumento de qualidade vida, aumento de segurança e conservação ambiental.

“Isso tem o potencial de transformar a economia da fabricação, redirecionando-a da produção em grande escala para o modelo artesanal das pequenas oficinas de design, com acesso a impressoras 3-D.” (KARLGAARD,2011).

Portanto, esta nova revolução vem trazendo cada vez mais benefícios para a comunidade industrial. Na figura 1 é mostrado como funciona a Integração da indústria 4.0.

Figura 1 - Integração da Indústria 4.0



Fonte: (CNI, 2016)

## 2.3 INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

Para que a indústria 4.0 surja no Brasil existem desafios, tais como adaptação de layouts, adaptação de processos, investimentos em equipamentos de grandes tecnologias, desenvolvimento de novos estudos para os futuros empregados e novas formas de engenharia e gestão na nova cadeia produtiva.

Através desta nova indústria o Brasil terá uma nova elaboração de política industrial, como ampliação de escalas de negócio, surgimentos de novas atividades e profissões, novos modelos de negócios e inserção nos mercados.

Através de uma pesquisa feita pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) nas indústrias brasileiras: 42% das empresas não tem conhecimento da nova tecnologia e 52% não usam nenhuma tecnologia nova da indústria 4.0 e 31% das empresas entrevistadas não sabem dizer se usam ou não a tecnologia. Outros resultados mostram que 73% das empresas usam tecnologia na etapa de processos, 47% na etapa de desenvolvimento e 33% investe na criação de novos produtos.

“O perfil da amostra: 2.225 empresas, sendo 910 pequenas, 815 médias e 500 grandes. De 29 Setores da Indústria de Transformação e extrativa. Período de coleta: 4 a 13 de janeiro de 2016.” (CNI, 2016)

Na figura 2 mostra as 10 tecnologias perguntadas na pesquisa.

Figura 2 - Tecnologias digitais listradas

LISTA DE TECNOLOGIAS DIGITAIS	USO	IMPORTÂNCIA
Automação digital sem sensores	11	3
Automação digital com sensores para controle de processo	27	20
Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA	7	14
Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	8	21
Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos	19	25
Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D	5	9
Simulações/análise de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento	5	5
Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	9	15
Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	6	11
Incorporação de serviços digitais nos produtos ("Internet das Coisas" ou Product Service Systems)	4	12
Projetos de manufatura por computador CAD/CAM (2) (3)	30	9
Nenhuma das listradas	15	3
Não sabe/ não respondeu	31	39

Fonte: Sondagem Especial nº 66. Indústria 4.0. CNI. Maio de 2016.

Fonte: (CNI, 2016)

Portanto, nas análises de setores mostra uma assimetria no grau de utilização das empresas, mostrado na figura 3.

Figura 3 - Uso de tecnologias digitais

	SETOR	%
Que mais usa	Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e outros	61
	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	60
	Coque, derivados do petróleo e biocombustíveis	53
	Máquinas e equipamentos	53
	Metalurgia	51
Que menos usa	Outros equipamentos de transporte	23
	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	25
	Produtos farmacêuticos	27
	Minerais não metálicos	28
	Vestuário	29
	Calçados	29

Fonte: Sondagem Especial nº 66. Indústria 4.0. CNI. Maio de 2016.

Fonte: (CNI, 2016)

Consequentemente, as pesquisas mostram que a indústria 4.0 no Brasil ainda é muito instável, pois as empresas não têm o devido conhecimento tecnológico.

## 2.4 INDÚSTRIA 4.0 NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil na indústria 4.0 ainda está se adaptando com a forma de digitalização e integração da cadeia que envolve consumidores, parceiros e fornecedores. Desta forma o setor encontra-se obsoleto em relação a outras indústrias, como automobilístico.

No decorrer da criação de pequenos projetos é possível atingir um aumento na qualidade produtiva através da digitalização e integração de uma nova tecnologia, trazendo grandes benefícios, tal como a redução de falhas e economia de materiais, proporcionando uma alta eficiência.

Na construção civil já temos uma grande tecnologia BIM, que significa modelagem da informação da construção, e torna projetos mais precisos, com menos falhas e entregas mais rápidas.

Adotando outros recursos, a Construção 4.0, que seria a indústria 4.0 na construção, abrange automação no canteiro de obras, novas tecnologias construtivas como a impressora 3D. Não prioriza a manufatura de produtos e sim importância que os projetos devem ter com as exigências do mercado.

A indústria 4.0 na construção civil trará grandes benefícios e facilidades para o dia de trabalho de um arquiteto, engenheiro, mestre de obra e projetista.

### 3. IMPRESSORA 3D

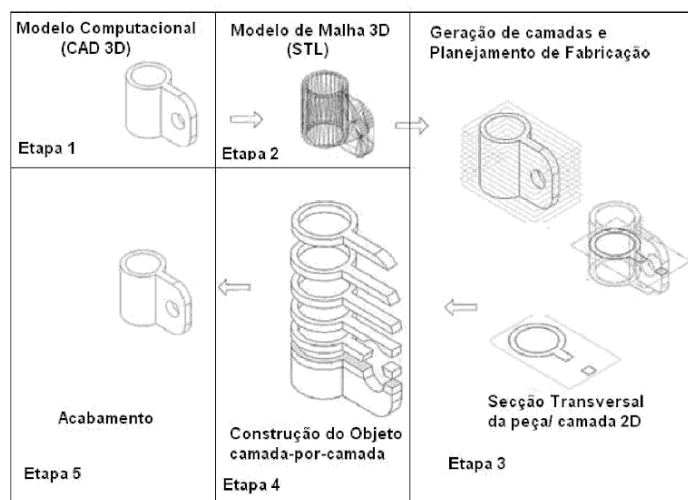
Ao longo dos anos, os consumidores exigem que seus produtos fiquem pronto mais rápido, para isso as empresas disparam o aumento da complexidade dos produtos para que os seus desenvolvimentos sejam reduzidos. Para atribuir estas novas exigências foram estudadas diversas novas tecnologias para fabricação de objetos de formas diferentes, como usinagem e moldagem, entre outros.

Segundo CUNICO (2015) estas tecnologias têm adição de material e fabricação de objetos camada-por-camada como conceito fundamental e comum. As tecnologias usam nomes como: Fabricação por camadas, Prototipagem Rápida e Impressão 3D.

A impressora 3D conhecida nos dias de hoje, teve seu início de estudos a partir da década de 80, onde era utilizada para construção de protótipos de madeira rápida, não utilizando moldes e construção manual. “A medida da maturidade destas tecnologias, o número de aplicação foi gradativamente se expandindo, chegando até às áreas da saúde e de produção.” (GIBSON 2005; LIOU 2007; VOLPATO 2007; CUNICO 2015)

Na figura 4 é mostrado um esquema simples do processo de adição de material por camadas, mostrando as principais fases da fabricação da peça.

Figura 4 - Representação esquemática do funcionamento de Impressora 3D.

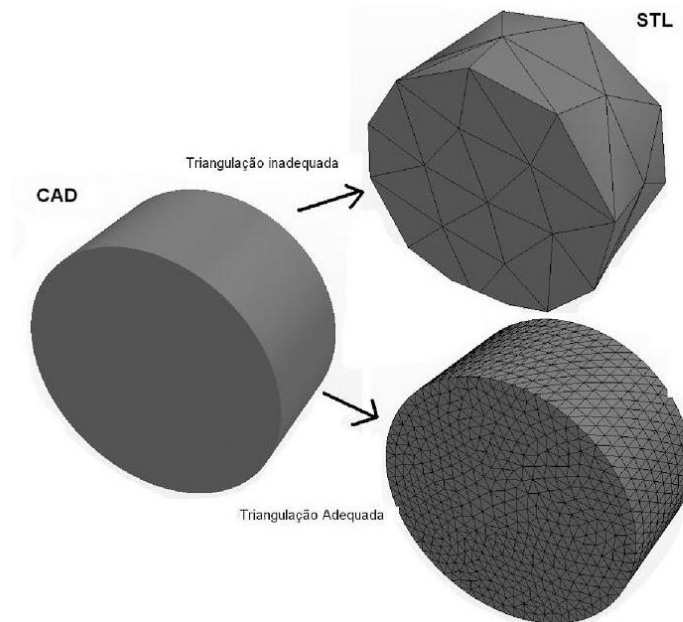


Fonte: (CUNICO, 2015)

Os desenhos dos moldes em 3D são processados em programas de projeto ou no CAD, mas a geração de camadas utiliza arquivos leves, como modelos de malha. Para utilização destes arquivos mais leves tem que ser feita conversão do desenho para formato STL. Por outro lado,

o programa restringe as variações geométricas diferentemente do que é exibido no CAD, podendo causar defeitos de construção. Assim, se o desenhista não especificar o tamanho e escala da malha, o objeto mostrará inferência de forma. Na figura 5, é apresentado um exemplo de problemas causados com uso inadequado do programa de modelos de malhas (STL).

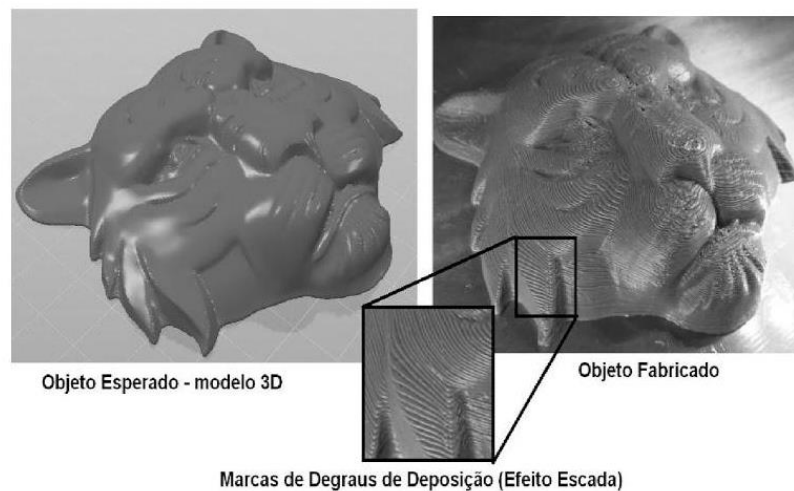
Figura 5 - Exemplo de triângulos inadequados



Fonte: (CUNICO, 2015)

Outros problemas encontrados em objetos fabricados pela impressora 3D, mostram marcas de filamentos depositados, marcas de camadas, degraus ocasionados por inclinações altas, conhecidos por efeito escada. Portanto, nestes casos, é necessária uma grande execução de acabamento manual para objetos de caráter visual, como demonstrado na figura 6.

Figura 6 -Exemplo de problema encontrado em objetos fabricados pela impressora 3D.



Fonte: (CUNICO, 2015)

Independentemente destes problemas encontrados, as impressoras 3D mostram uma fabricação diversificada, facilitando alcance de geometrias mais complexas e atribuindo as suas utilizações em áreas diversas, tais como saúde design e engenharia.

A maior parte das impressoras 3D é constituída em fusão e deposição de diversos materiais sólidos, tais como plástico, nylon, cerâmicas, aço, vidro e concreto, portanto pode observar uma grande circulação das impressoras 3D.

### 3.1 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DA IMPRESSORA 3D

#### 3.1.1. Funcionamento da impressora

Existem diversos métodos de impressão, que trabalham de formas diferentes utilizando materiais próprios. O modo de fabricação de objetos se desenvolveu e vem sendo mudado pela tecnologia da impressora 3D.

O primeiro passo para a Prototipagem Rápida conhecida como impressora 3D, é desenvolvimento do modelo em 3D do objeto em algum programa de computador, lembrando das exigências citadas no texto acima. Em seguida, é necessário enviá-lo para o software da impressora para definição da qualidade e as dimensões do objeto, medida pela espessura das camadas. Quanto menor a espessura, maior é a qualidade, em contrapartida o tempo de impressão aumenta. Assim, as impressoras são encarregadas de analisar o modelo e decidir como imprimir-lo empregando a menor quantidade de material e tempo.

Após determinar as configurações, o software da impressora colhe os dados e fatia objetos em camadas horizontais, sendo um conjunto de comandos para cabeça da impressora movimentar na direção de x e y.

De feito a descomplexificar o funcionamento das principais tecnologias da impressora 3D, foram manifestados meios de classificação baseados no tipo de material utilizado e forma do processo de construção dos objetos, onde são comparadas a variação de resistência, distorção tridimensional e resolução de fabricação.

Nestas técnicas destacam – se:

- Tecnologia a base de fusão e deposição (extrusão);
- Tecnologia a base de Polímeros Líquidos;
- Tecnologia a base de sólidos laminados;

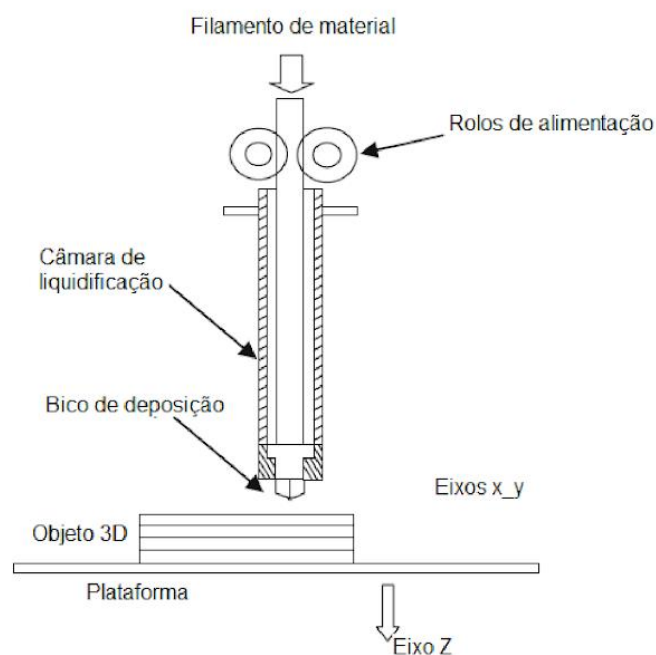
- Tecnologia a base de pó.

### 3.1.2. Tecnologia a base de fusão e deposição (extrusão)

Na tecnologia a base de fusão e deposição, existe uma modelagem chamada Fusão e Deposição de Materiais (FDM) feita a partir da deposição de materiais, frequentemente termoplásticos, por meio de um cabeçote extrusor. Esta tecnologia tem o conceito de base para impressoras 3D de baixo custo, pois é uma das mais expandidas no mercado.

A máquina para construir o objeto de FDM é composta por 3 eixos, dois que andam na direção horizontal (x e y), colocando filamentos de material, e um na direção vertical (z), com efeito de construir a próxima camada. O injetor de material aquece e puxa filamento plástico alocados nos rolos de alimentação, então passa por dois bicos extrusores, sendo um que passa o material que irá compor objeto, e no outro o material utilizado como suporte de fabricação de superfícies mais complexas, colocados no cabeçote, então depositado na plataforma. Esquematizado na figura 7.

Figura 7 - Representação esquemática de processo FDM (CUNICO, 2015).



Fonte: (CUNICO, 2015)

A partir da primeira camada pronta nos eixos x e y, a máquina se desloca no eixo z para baixo, com um valor de espessura da próxima camada, para que a próxima seja produzida, assim

esse processo é repetido até formar o objeto 3D completo. Como se baseia na deposição de filamento individual, o processo pode demorar mais tempo dependendo da qualidade e dos detalhes do objeto.

A FDM mostra vantagens em relação as outras técnicas de impressão, tanto quanto menor desperdício de material, menor necessidade de limpeza e ocupa menor espaço, pois os motores para acionamento precisam de menos potência e resfriamento. Por causa destas vantagens a impressora pode ser usada em ambientes não indústrias, tais como escolas e faculdades para utilização acadêmica.

### *3.1.2.1. Tecnologia a base de Polímeros Líquidos*

Essa tecnologia tem como fator a utilização de materiais foto polimerizáveis, a base de acrilatos e epóxis. Segundo CUNICO (2015) a cura destes materiais, ainda no estado líquido, ocorre normalmente através de ação de luz ou laser UV, e conseqüentemente implicando num alto custo de manutenção do equipamento.

As tecnologias a base de polímeros líquidos têm as tecnologias mais conhecidas, destacando se a estereolitografia (SLA) e a impressão jato de tinta (IJP).

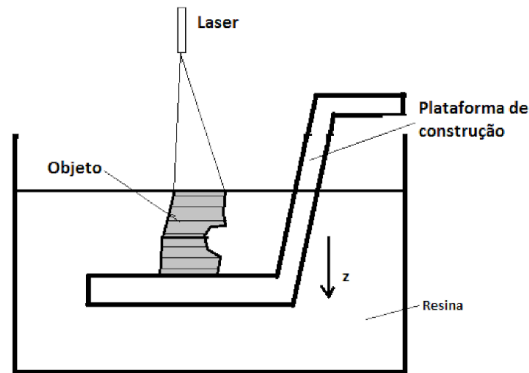
### *3.1.2.2. Estereolitografia (SLA)*

Na técnica descobridora de impressão 3D, Estereolitografia, o objeto é formado pelo endurecimento de resina e usufrui de laser para endurecer as camadas.

Segundo CUNICO (2015) o princípio funcional deste processo consiste na cura localizada de resina fotossensível através de feixe de laser UV que se desloca ao longo dos eixos x e y. Este feixe incide sobre um recipiente imerso em resina a fim de construir a silhueta da camada previamente calculada computacionalmente. Em seguida uma plataforma de sustentação do material, imersa a camada pronta no reservatório de resina e se desloca no eixo z, assim construindo a nova camada e assim sucessivamente até o fim do objeto.

Na figura 8 é representada de forma generalizada por um desenho o processo de Estereolitografia descrito no parágrafo anterior.

Figura 8 - Representação Generalizada de processo de Estereolitografia.



Fonte: (CUNICO, 2015)

Assim que a impressão for finalizada, a plataforma emerge o objeto, permitindo a remoção do excesso de líquido das peças, e posteriormente colocando no forno para a cura e aumentando sua resistência.

Comparada com FDM, a SLA tem uma produção dos objetos com maior detalhes e precisão, além disso o objeto tem uma resistência maior. Portanto, a impressora de Estereolitografia tem um valor maior de compra, manutenção, operação e materiais, tornando-se uma tecnologia mais cara.

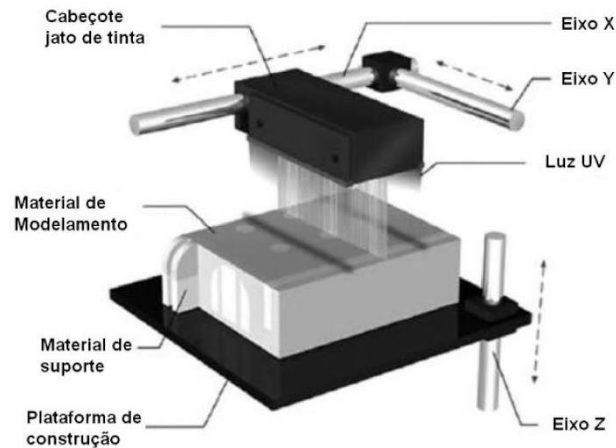
### 3.1.3. Impressão jato de tinta (IJP)

A impressão jato de tinta fotopolimerizáveis, funciona com criação de camadas através de gotas de material do cabeçote de jato de tinta. Os materiais utilizados são baseados em acrilatos, epóxis, termoplásticos e cera.

A impressora utiliza cabeçote jato de tinta térmico a fim de dispensa de gotas de materiais solidificadas devido à exposição UV, na construção de seção transversal de objetos 3D ao longo dos eixos x e y. Conseqüentemente, após finalização da camada anterior, a plataforma de construção se desloca na direção vertical (eixo z) a fim de construir a próxima camada sucessivamente até a conclusão da peça.

A figura 9 mostra a representação genérica da tecnologia IJP fotopolimerizáveis.

Figura 9 - Representação genérica da tecnologia IJP de fotopolimerizáveis.



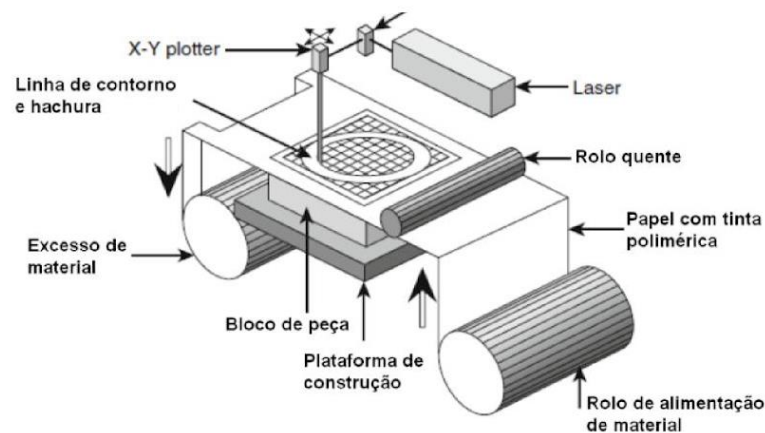
Fonte: (CUNICO, 2015)

Esta tecnologia permite fabricação de objetos com vários tipos de matérias e diversas cores, possuindo maior utilidade para uso de objetos diferenciados.

#### 3.1.4. Tecnologia a base de sólidos laminados

A tecnologia a base de sólidos laminados, conhecida como impressora de Modelagem de objetos laminados (LOM) funciona no corte e colagem de folhas de papel ou plástico, gerando por meio de um laser CO<sub>2</sub> as camadas nas direções x e y. Estas camadas são empilhadas e coladas com resinas térmicas. Após finalizada esta etapa, uma plataforma no eixo z movimentada-se verticalmente para criação de uma nova camada. Para uma boa aderência nas colagens, um rolo comprime a camada fabricada contra as camadas anteriores, proporcionando através de pressão e calor. Mostrado na figura 10.

Figura 10 - Representação de princípio de funcionamento de processo LOM.



Fonte: (CUNICO, 2015)

Segundo CUNICO (2015) o princípio básico de funcionamento sofreu diversas variações ao longo do tempo, como a utilização de lâmina para realização de corte e cabeçote jato de tinta para geração de peças coloridas, e emprego de outros tipos de materiais além de papel.

Em processos mais complexos o LOM, é obtido um bloco no final do objeto, sendo necessário um processo de acabamento para remoção das áreas que não fazem parte.

Apesar dos diversos benefícios, como tempo de fabricação menor em relação as outras tecnologias, visto que a impressora não usa rotina de preenchimento na confecção de camadas, o material final é baseado em papel, não sendo então resistente a água e, portanto, possuir uma resistência mecânica inferior. Outra desvantagem está relacionada as geometrias pequenas que são inviáveis pelo processo de remoção de material residual, podendo ocasionar danos nas peças.

### **3.1.5. Tecnologia a base de pó**

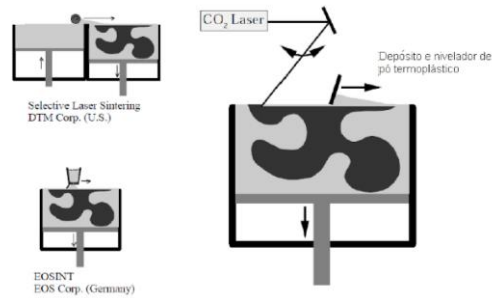
As tecnologias a base de pó têm o funcionamento em materiais a base partículas discretas ou pó. Entre esses processos estão classificados a: Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e Impressão 3D.

#### *3.1.5.1. Sinterização Seletiva a Laser (SLS)*

Os processos de Sinterização Seletiva a Laser, consistem na construção de objetos 3D através de camada homogêneas de polímeros em pó. As camadas são construídas por meio de fusão ou sinterização do particulado metálico, cerâmico ou polimérico, através do laser que se desloca na direção x e y. Sucessivamente ao fim da camada, a plataforma se desloca na direção vertical do eixo z para construção de nova camada.

Na figura 11 observa uma ilustração esquemática dos processos de Sinterização Seletiva a Laser.

Figura 11 - Ilustração esquemática dos processos de SLS.



Fonte: (CUNICO, 2015)

Após o término destas etapas, é necessária a retirada de todo excesso do pó do objeto impresso. Algumas vezes é necessário um processo de um acabamento e polimento para que o objeto fabricado fique em perfeito estado.

O pó retirado em excesso pode ainda ser reutilizado, resultando em um desperdício mínimo. A SLS possui uma boa resistência mecânica e térmica.

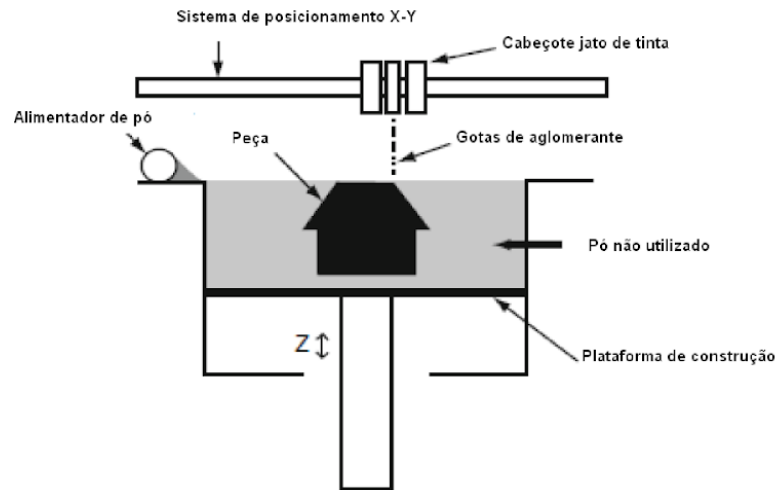
### 3.1.5.2. Impressão 3D (3DP)

A Impressão 3D baseada em materiais particulados, inicialmente desenvolvida pela Universidade Tecnológica de Massachussets (MIT), teve uma maior disseminação entre as diversas categorias de impressoras 3D, sendo também a projetora do nome da tecnologia.

Canuto (2015) fala que o princípio funcional se fundamenta na deposição de um material colante (binder) sob camada de pó cerâmico (geralmente gesso), gerando um aglomerado. Um reservatório contendo pó eleva uma plataforma enquanto um rolo distribui este pó sobre a plataforma de construção da peça.

A fabricação de camadas utiliza um cabeçote de jato de tinta deslocando na direção horizontal (eixo x e y), de maneira a borrifar o material colante sobre camada de pó e na direção vertical (eixo z), para criação de novas camadas, o processo é repetido até que seja concluída a produção da peça. Usualmente, utiliza-se um jato de ar para extrair o pó excedente do objeto. Esquematizado na figura 12.

Figura 12 - Ilustração esquemática do processo de impressão 3D.



Fonte: (CUNICO, 2015)

A velocidade desta impressão se torna mais rápida comparadas com as outras tecnologias, pois pode chegar a 4 camadas por minuto e o processo destaca-se pois pode proporcionar para o cliente um objeto colorido em até 24 bits de cores.

A fim de ter uma boa resistência mecânica é realizado um processo de infiltração através sinterização indireta. Na maioria dos casos a resistência mecânica obtida é baixa comparando com a resistência do gesso.

## 3.2 APLICAÇÕES EM OUTRAS ÁREAS

Não pode dizer que uma impressora 3D atende todas as aplicações, portanto cada área tem uma impressora 3D específica.

Conveniente aos benefícios e características das impressoras 3D, as áreas de Design e arquitetura; saúde; projetos e engenharia usa o manuseio destes equipamentos.

### 3.2.1. Design e arquitetura

A aplicação da impressora 3D na área de design e arquitetura pode ser apresentados maquetes de edifício, esculturas de personagens e entre outras, pois estão relacionados no interesse grande na complexidade das formas, assim como alto nível de detalhamento e acabamento.

Por outro lado, diversos parâmetros são desconsiderados, como resistências de materiais, e esforços solicitantes. Portanto, não existe uma demanda grande para objetos com resistências mecânicas.

As impressoras indicadas para esta área são: Impressora 3D a base de particulado; Impressora LOM colorida; Impressora 3D a base de fotopolímetro, pois todas podem adquirir objetos coloridos, nível de detalhamento alto e variedade múltiplos de materiais.

Na figura 13 mostra dois exemplos de objetos impressos na impressora 3D na linha de produtos z-print.

Figura 13 - Exemplos de maquetes de edifícios (a) e escultura (b).



Fonte: (CUNICO, 2015)

### 3.2.2. Saúde

A maior área que usa as Impressoras 3D são as áreas da Saúde, pois existe uma grande complexidade de problemas e benefícios.

As aplicações mais comuns encontradas são: auxílio em planejamento cirúrgico; fabricação de implantes, próteses e equipamentos médicos.

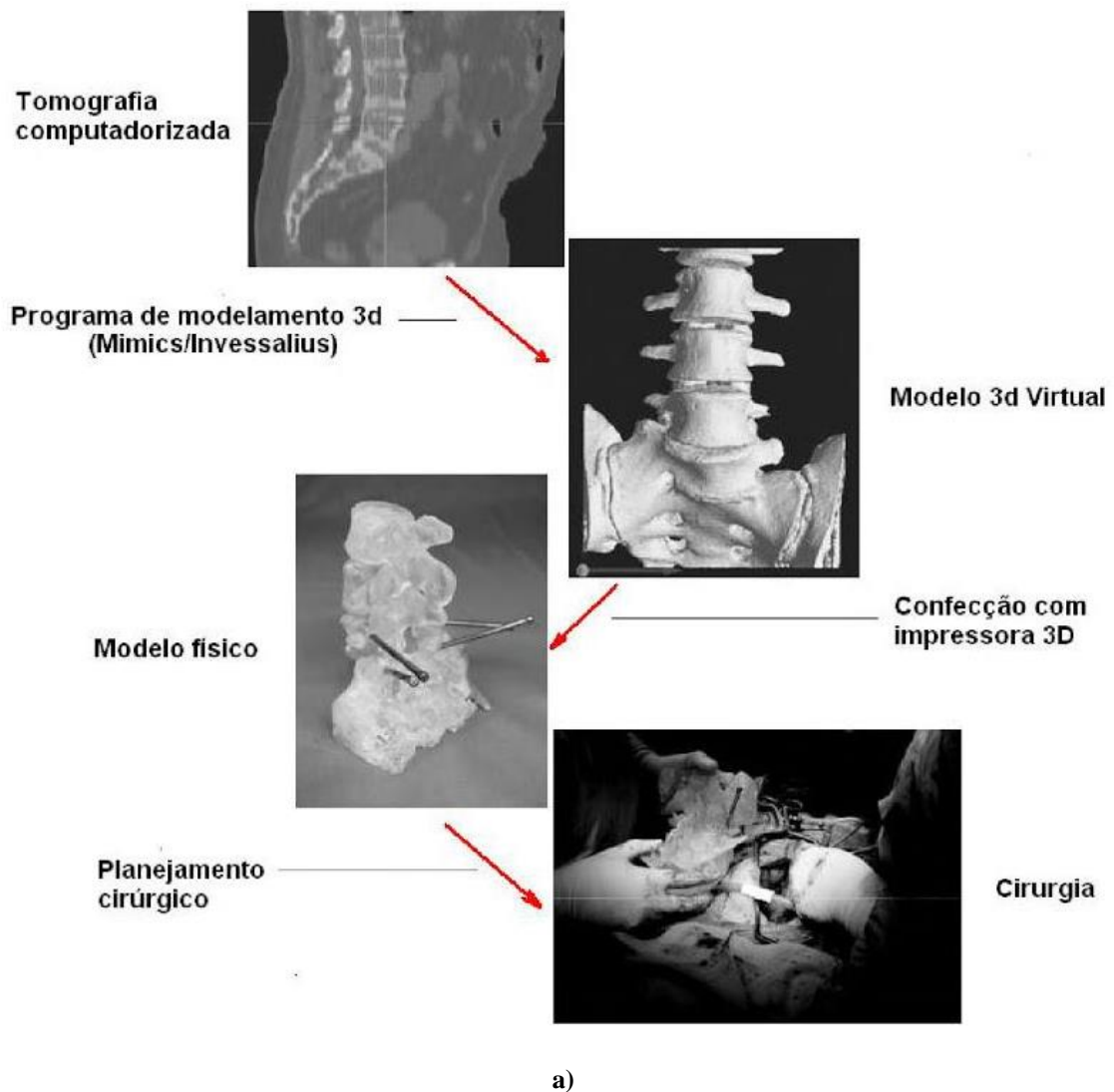
Na parte do processo de auxílio em planejamento, usa-se a impressora 3D a partir de imagens médica, como tomografia computadorizada. A partir deste modelo 3D, são desenhados réplica de órgãos que ajudam no auxiliam dos médicos cirúrgicos. A vantagem desta técnica resulta em cirurgias menos agressivas aos pacientes e reduz a ocorrências de erros ao longo da cirurgia.

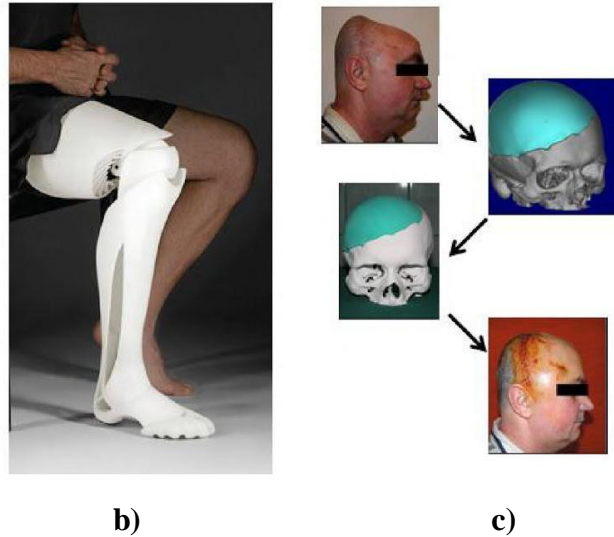
Segundo CUNICO (2015) para a construção dos biomodelos, as maiores necessidades observadas são: alta complexidade de forma, alta precisão e resistência mecânica.

As impressoras mais indicadas para esta área são: SLS, Impressora 3D a base de fotopolímero e SLA, apresentando alta resistência mecânica, alto nível de detalhamento e alto nível de complexidade de forma.

Na figura 14 mostra exemplos de auxílio em planejamento cirúrgico através de etapas dos processos e próteses e implantes fabricadas pela impressora 3D.

Figura 14 - Principais etapas do processo na construção de biomodelos (a) e exemplo de próteses (b) e implantes (c).





Fonte: (CUNICO, 2015)

### 3.2.3. Projetos e Engenharia

Nas áreas de projetos e engenharia estão relacionadas à viabilização de concepções e planejamento de manufatura. As principais características para esta área são: resistência mecânica; tolerância dimensional e compatibilidade com material final a ser empregado.

Assim, as impressoras 3D mais adequadas são: FDM, SLA, SLS. Sendo que estas impressoras apresentam características tais como, erro dimensional pequeno, limitações de tipos de materiais, resistência mecânica alta e alto nível de complexidade.

#### 4. IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil a utilização da impressora 3D veio para minorar alguns problemas ora identificados como gastos com muita matéria-prima agravando impacto ambiental, baixa eficiência de trabalho, melhoria na alta taxa de acidentes e suprir a insuficiência de força de trabalho qualificada.

WU et al. (2016), mostra que a utilização da impressora 3D pode conduzir uma produtividade melhor através de: Redução de desperdício; Flexibilidade de design; Mão de obra reduzida; Tempo de redução na construção; produtividade na obra.

A construção civil vem estudando as técnicas de impressão 3D, assim inspirando em impressão de grandes escalas e impressão de concreto e materiais cimentícios. Cerca dos diversos casos estudos, dois casos mais relevantes destaca-se sendo *Contour Crafting (CC)*, *Concrete Printing* e *Large Scale Cement Printer (D-Shape)*.

Segundo CUNICO (2015) em ambos os casos, o foco é a fabricação de objetos em escala muito grande, podendo até mesmo proporcionar a fabricação de edifícios de forma automática.

Após o estudo do tema a impressão de concreto, está sendo realizada fora do Brasil, entretanto, uma empresa startup chamada InovaHouse3D desenvolveu em 2016 a primeiro protótipo de impressora de cimento do Brasil com o potencial de defender os locais que passaram por catástrofes, ou seja, voltada para construção social. O material utilizado nesta impressora criada será os materiais pastosos, que não é preciso ser aquecido e sim bobeado para imprimir. O traço da mistura vai ter como base os materiais já existentes na construção: areia, cimento e água.

##### 4.1 CONTOUR CRAFTING

*Contour Crafting*, é um sistema de construção automatizada por computador, que por deposição de concreto especial é fixado por meio de torres de suporte temporárias. (BOSSCHER AND ROBERT 2007; CUNICO 2015). Mostrado na figura 15.

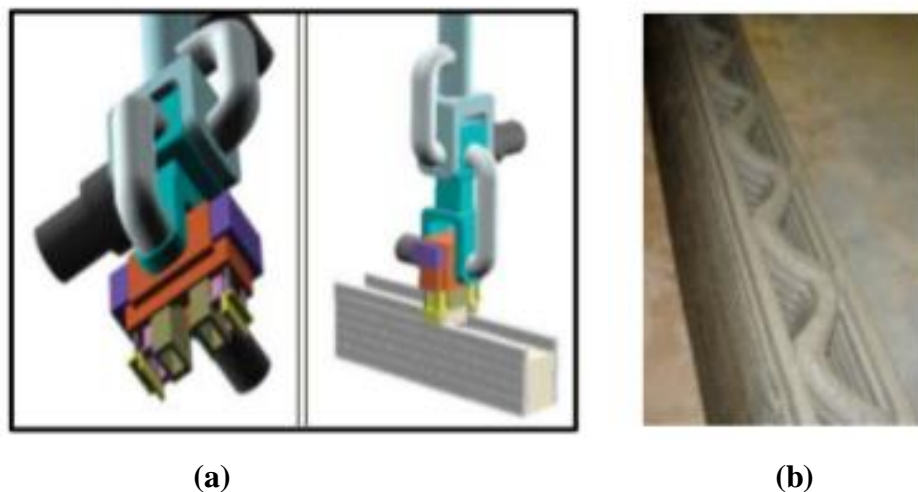
Figura 15 – Representação sistema de Contour Crafting.



Fonte: (CUNICO, 2015)

O cabeçote é movimentado com um bocal de extrusão através destas torres para formação de camadas, e a construção de escalas maiores e até edifícios se torna possível. O bocal de extrusão tem múltiplas saídas, uma para construir a camada e outra para construir o núcleo de uma estrutura da parede. Cada lado do bocal, existe uma espátula adjacente usada para criar superfícies lisas exteriores e de topo de cada camada. Mostrado na figura 16.

Figura 16 - Conjunto de bocal (a) e Parede impressa (b)



Fonte: (KHOSHNEVIS (a); e COUTOUR CRAFTING (b), 2004)

A *Contour Crafting* exige uma sequência mais especificada incluindo moldagem, a instalação de reforço e concreto extrusado para construir camadas até 20 mm de altura. O molde não é descartado tornando uma parte da parede.

A tecnologia possui uma taxa de construção de 3 min/m<sup>2</sup> para elevação de paredes, entretanto, proporciona baixo desperdício de material, enorme potencial econômico, melhor qualidade de vida, segurança superior e redução no impacto ambiental. Assim a técnica promete construção de habitações design personalizado e com baixo custo e nível de qualidade alto.

Na figura 17 apresenta economia esperada com o uso da CC comparado com a construção convencional.

Figura 17 - Comparação da Coutour Crafting x Construção Convencional

Parcela de custo da Construção Convencional	Devido a	Se automatizado pela Coutour Crafting
20-25%	Financiamento	Curta duração do projeto e controle do tempo de mercado irá eliminar ou reduzir drasticamente custo de financiamento
25-30%	Materiais	Sem desperdício na construção
45-55%	Mão de Obra	O trabalho manual será significativamente reduzido. O poder muscular será substituído pelo poder cerebral.

Fonte: (KSOSHNEVIS, 2004)

Todavia, a aplicação desta tecnologia ainda exige muito trabalho, já que a inserção de armadura metálica para o aumento da resistência precisa ser realizada manualmente.

#### 4.2 CONCRETE PRITING

Não existe só tecnologia CC, e sim diversas outras tecnologias estão sendo desenvolvidas para acomodar as necessidades das indústrias da construção.

A universidade de Loughborough desenvolveu o *Concrete Priting*, possui processo de construção com base em extrusão de argamassa e cimento, usando braços robóticos. Comparando com a CC a tecnologia tem uma resolução menor de deposição pois alcança uma liberdade maior tridimensional. Mostrado na figura 18.

Figura 18 - Experiência construída através da Concrete Priting



Fonte: (SCULPTEO, 2014)

A máquina de Concrete Printing tem uma dimensão de 5,4 m x 4,4 m x 5,4 m (altura), uma cabeça de impressão que se movimenta em uma viga móvel e um bocal de 9 milímetros com a cabeça de impressão para o material de extrusão.

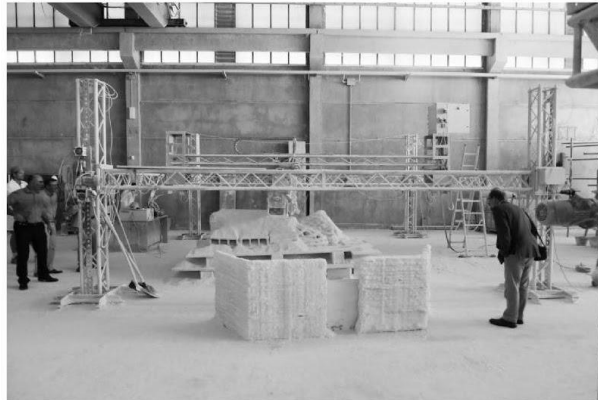
LE et al. (2002) na busca para descobrir uma mistura de concreto de alto desempenho conduziram um programa experimental, desenvolveram uma mistura reforçada com fibra contendo superplastificantes e retardador para aumentar a trabalhabilidade e força.

### 4.3 LARGE SCALE CEMENT PRINTER

Outras variações da tecnologia são existentes, tais como sistema de movimentação pode ser realizado por coluna ou sistemas portáteis. Proporcionando a construção de infraestrutura em ambientes insalubres, como espaço e oceano.

A *Large Scale Cement Printer (D-Shape)* é um sistema de deposição de material agregado ao longo de uma camada e durante um sistema de spray encharca o substrato com material ligante, solidificando a parede. Depois do processo o pó não colado com material ligante é removido adquirindo o objeto final desejado. Na figura 18, o material agregado é composto por cimento, areia, brita e entre outros.

Figura 19 - Representação do funcionamento do sistema D-shape.



Fonte: (CUNICO, 2015)

A impressora é composta por uma cabeça de impressão com 300 bocais, montada numa estrutura de pórtico de alumínio. A impressora pode imprimir até 6 x 6 x 6 m de estruturas arquitetônicas.

Apesar de ser simples o conceito, para uso na construção civil se torna difícil, pois sempre existe a necessidade de remoção de material sendo que a construção de uma casa exigiria uma grande quantidade assim trazendo um desperdício muito grande.

## 5. ANÁLISE COMPARATIVAS DAS TECNOLOGIAS

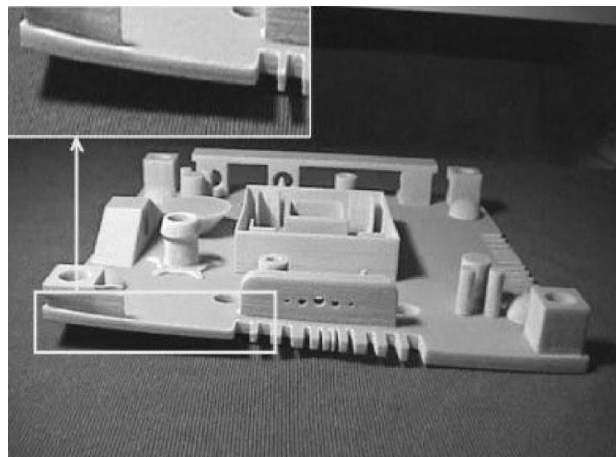
A partir dos estudos de todas as tecnologias voltadas para impressora 3d, a fim de comparar de forma geral as características interessantes, por meio da análise comparativa das tecnologias, realizável a identificar os principais benefícios e desvantagens entre cada uma tecnologia da impressora 3D em tecnologias gerais e sobre a experiencia entre método convencional e método tecnológico para obras da construção civil.

### 5.1 TECNOLOGIAS EM GERAIS

Após concretizado as pesquisas sobre as impressoras de FDM, SLA, IJP, SLS, LOM e 3DP foi executado um levantamento sobre as resoluções de fabricação, espessura mínima de camada, maior detalhes e precisão do objeto, resistência maior do objeto e valor de compra.

A partir da resolução das impressoras mostra que a impressora FDM e LOM estão empatados em 127  $\mu\text{m}$ , todavia pode complementar que a alta resolução destas tecnologias pode ocasionar variações no processo, tais como, distorções dimensionais no produto final, exibido na figura 19 o empenamento de uma peça fundada por FDM no processo de fabricação.

Figura 20 - Empenamento de peça fabricada por processo de FDM (CUNICO, 2015).



Fonte: (CUNICO, 2015)

Na parte das espessuras camadas podem ser visto que SLA faz a menor espessura de camada com 50  $\mu\text{m}$  e a FDM faz a maior espessura da camada podendo chegar a 762  $\mu\text{m}$ . Tendo em vista que cada vez menor a espessura da camada mais fina ficará peça.

Com base dos textos descritos mostra-se que a impressora SLA tem uma produção de objetos com maior detalhes e precisão, assim sendo favorecida por ter a camada com menor espessura. Além da impressora SLA tem menor camada, maior detalhes e precisão, o objeto tem uma resistência maior de que as outras impressoras.

Através de pesquisas feitas em sites os preços das impressoras variam a partir de R\$ 2.000,00, para modelos compactos e simples como a Finder (FLM), a mais de R\$ 45.000,00, em impressoras profissionais e de alto detalhamento como a Zmorph. Sendo assim importante saber qual a impressora servira a sua empresa. Assim adquirindo a sua impressora também precisara comprar os filamentos variando de R\$ 139,00 a R\$ 450,00.

## 5.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA TECNOLOGIA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As impressoras *Contour Crafting (CC)*, *Concrete Printing* e *Large Scale Cement Printer (D-Shape)* foram os principais métodos de impressão mostrados durante a monografia, devido ao destaque de informações sobre as técnicas, este tópico faz uma comparação entre os processos.

As três tecnologias são formadas para impressão de concreto e tem igualdades em estados de processo de fabricação, sendo toda a tecnologia são baseadas em fabricação aditivada, porem as tecnologias tem características bem diferentes umas das outras. As características diferentes delas são tamanhos do local de projeto, processo de execução, tamanho de camadas, rapidez da impressão, impressão de paredes com vão e acabamentos.

A CC foi projetada para ser um dispositivo montada em um lugar específico para aplicação no lugar, já a *D-Shape* e a *Concrete Printing* são programadas para fabricação de pórticos fora do local de aplicação.

As impressoras têm dois tipos de processos: extrusão e deposição de pó. Uma máquina a base de extrusão como a *CC* e a *Concrete Printing*, torna um desenho totalmente independente do material a ser extraído, assim permitindo uma grande qualidade, tal como algumas decisões de design pode ser decididas depois ou desacopladas uma da outra, outra característica boa desta tecnologia é que se o material é desenvolvido dentro do tempo de vida útil da impressora e precisa ser mudado, basta mudar o fornecimento da cabeça de impressão e do material, assim mantendo toda a característica da estrutura mecânica. Já o sistema de deposição de pó como a

*D-Shape* as características certas, sem mudanças, do material de impressão devem ser conhecidas antes de começar o processo design, em virtude que o seu confinamento e entrega torna-se totalmente integrante do projeto mecânico da impressora.

A parte das espessuras de camadas entre as impressoras são diferentes, sendo a *D-Shape* e *Concrete Printing* com uma espessura de 4 a 6 milímetros e na CC mostra aproximadamente 13 milímetros de espessura. Assim mostrando que a impressão da camada é relativa com a velocidade de construção, sendo que menor a camada, menor a velocidade de construção. A velocidade de construção também pode ser afetada pelo material que vai ser usado para impressão e taxa de deposição de aglutinante. A impressora CC imprime uma camada inteira com duas passagens de cabeça de deposição, assim tendo um grande diâmetro de extrusor, reduz o tempo de impressão. Na parte da *Concrete Printing* utiliza um bico só de deposição, assim tendo que atravessar toda área de construção e o único material necessário é depositado. A *D-Shape* utiliza um pórtico com vários bicos em série, passando uma única vez por camada e o material deve ser espalhado em toda área de construção, comprimido e achatado.

Outra diferença é como construir as paredes com vão de portas e janelas. *D-Shape* e *Concrete Printing* por ser um processo em deposição de pó, precisam de um apoio para criar as estruturas em balanço. A CC imprime elementos verticais, fazendo assim nas aberturas uma verga é necessária, parede por ser colocada em cima, assim evitando vários tipos de problemas com o balanço.

Na figura 21 é resumido pelo LIM et al. (2012) todas as características de cada tecnologia e comparada por cada categoria.

Figura 21 - Comparação entre tecnologias de impressão.

	Contour Crafting	Concrete Printing	D-Shape
Processo	Extrusão	Extrusão	Impressão tridimensional
Uso de forma	Sim. Torna-se parte da peça	Não	Primeira tentativa para construção livre
Material de Impressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mistura de argamassa para molde</li> <li>• Material cimentício para construção</li> </ul>	Concreto para impressão (fórmula própria)	Material granular (pó de areia / rocha)
Aglutinante	Não. Extrusão de material úmido	Não. Extrusão de material úmido	Material à base de cloro líquido
Diâmetro do bocal	15mm	9 - 20mm	Desconhecido
Número de bocais	1	1	6 - 200
Espessura da camada	13mm	6 - 25mm	4 - 6mm
Reforço	Sim	Sim	Não
Prós	Bom acabamento. Devido a ação das espátulas laterais	Liberdade de forma	Liberdade de forma
Contra	Processo de extra (moldagem)	Taxa de deposição (bico único)	Remoção e limpeza do material após a impressão
Aplicações	Paredes e peças de concreto	Paredes e peças de concreto	Elementos paisagísticos e projetos marítimos

Fonte: (LIM et al., 2012)

Os acabamentos das impressoras são diferentes em cada processo. A *Concrete Printing* e o processo de *D-Shape* produz um acabamento de textura, assim precisando de moagem e polimento, já a *CC* produz um acabamento com características de nervuras. Para ter uma superfície lisa, a impressora exige alisamento no material úmido durante o processo de construção e adição de acabamentos convencionais sobre o acabamento impresso.

## **6. EXPERIÊNCIAS DA IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

As experiências da impressora 3D na construção civil mostram que as tecnologias estão cada vez mais chegando para ficarem nos novos tempos de construção. Assim o progresso está evoluindo rapidamente com custos caindo, novos materiais sendo impressos e novas impressoras sendo fabricadas. As impressoras já estão vistas em vários lugares e profissões, tanto na parte medicina, no setor automotivo e na engenharia aeroespacial. Vindo estas tendências, a indústria da construção civil emprega a impressão 3D para protótipos físicos, como maquetes e na aera didática e construir em escalas maiores, como pontes, casas e prédios.

Neste capítulo, mostra após uma revisão e comparação das tecnologias da impressão em concreto nos capítulos anteriores, apresenta as aplicações já executas na indústria da construção visando permitir melhor análise de método utilizado.

### **6.1 PROTÓTIPOS FÍSICOS**

Novos modelos estão sendo executados para ser aplicados como introdução das tecnologias computacionais para apresentação de projetos e visualização 3D.

Conceituada fundamental para visualização de soluções construtivas, peças técnicas, artefatos biomédicos, modelos de prédios, as maquetes físicas são essenciais, assim utilizando os protótipos físicos impressos na impressora 3D para esses fins permitindo todos a ter uma maior precisão e rapidez.

#### **6.1.1. Protótipos físicos para Fins Didáticos**

A impressão 3D vem sendo usada para necessidades internas de faculdades e colégios, em cursos de Desenho de construção civil, maquetes, protótipos para estudo de vigas, matérias de químicas e medicina no qual é impressa DNA ou órgãos para estudos.

O serviço para começo de prototipagem rápida envolve em escolha de uma impressora 3D, seleção de conteúdos que vai ser impresso que identifica o que deseja ser mostrada como demonstrar e facilitar a compreensão de algum conceito. Depois definido o objeto, elabora o plano de construção, que, analisam as características do material, geometria, medidas e como

funcionam. O plano de construção deve mostrar as restrições e facilidades da tecnologia. Após a elaboração dessa parte é feito o esboço, que são rascunho do objeto que será impresso. Depois de ter feito todo esse estudo teórico começa a parte pratica. Primeira fase é a confecção da modelagem 3D da geometria, feitos em softwares como BIM e Autodesk, a segunda fase começa em converter o arquivo para o formato de STL, a terceira fase o modelo é verificado e enviado para fabricação e a última fase é caracterizada pela impressão do modelo e acabamento.

De acordo com COSTA e LEITE (2014), os valores e o tempo de execução do protótipo podem variar de acordo com o tamanho do protótipo, sua finalidade e o nível de detalhamento e acabamento solicitado.

A figura 22 mostra um modelo de referência feito no SENAI de tamanho de 15cm x 20cm x 10cm com o investimento de R\$ 4500,00 e o prazo de entrega de 4 dias úteis.

Figura 22 - Modelos de referência.



Fonte: (CBIC, 2014).

Os resultados qualitativos segundo COSTA e LEITE (2014) mostram que: cópias podem ser feitas em várias escalas, redução do tempo e custo para comunicar novas ideias e visualização do modelo edificado em escala reduzida como grande colaboração para compreensão dos alunos.

### **6.1.2. Protótipos para detalhes construtivos complexos e na produção de maquetes**

A tecnologia vem sendo utilizada para mostrar construções complexas e detalhadas, como por exemplo, a reforma da Sagrada Família em Barcelona. A tecnologia é usada desde

2001 quando as maquetes artesanais foram substituídas por maquetes 3D, para interpretação dos dados, maior compreensão da matemática e de proporções certas do projeto original de Gaudi. As maquetes da impressora é impressão em tecnologia SLA.

A elaboração da tecnologia apresentou nos trabalhos resultados como reproduzir pequenos detalhes sem esforço e melhor precisão humana, menos materiais, mais modelos e mais rápidos, com menos erro e economia de tempo e dinheiro, peças funcionais para montagem de peças históricas e contemporâneas.

Outro exemplo desta tecnologia, é usada para fabricar maquetes de casas inteiras e prédios, assim sendo mais fácil e mais interativa para os clientes entender melhor os desenhos de plantas convencionais.

Uma vantagem gratificante para as maquetes impressas na impressora 3D são estudos das localizações das instalações elétricas e hidráulicas, simular as condições de luminosidade e disposição de móveis e aparelhos nos edifícios.

A falta de processo de construção de protótipos da indústria da construção civil, mostra que ocorre por causa de produtos únicos, baixa qualificação da mão-de-obra e prazos de entrega. (CARRARO et al. (2016)).

## 6.2 EXEMPLOS DE EDIFICAÇÕES

As construções de casas, pontes, prédios, galpões são produtos que tem uma capacidade para empregar a impressão 3D. Houve várias tentativas na indústria da construção para aumentar personalização e reduzir tempo de construção, assim feito uma melhoria no desenvolvimento, várias empresas tiveram sucesso nas suas tentativas de impressão de edifícios.

### 6.2.1 Edifícios construídos com partes elaboradas por impressas

Segundo WOLFES (2015), uma empresa chinesa Yingchuang usa impressora para imprimir componentes de construção em grandes escalas. A mistura utilizada para imprimir são constituídas por fibra de vidro, aço, cimento, agentes de endurecimento e resíduos de construções reciclados.

A técnica é parecida com a CC, porém a CC imprimir a construção inteira no local já á Yingchuang imprimir grandes partes dos edifícios dentro de uma fábrica, no qual é preciso

transportar para o local da construção. Os Yingchuang apresentaram vários obstáculos para construir essas casas como: Processo indireto no qual os projetos são construídos em lugares separados e transportados para os lugares de construção; Fragilidade para estruturas que recebem cargas horizontais como lajes e escadas, mas usadas como formas ganha uma grande vantagem pois não é preciso desforma; Exclusão de serviços impressos como a parte elétrica e hidráulica do edifício causando problema na hora das instalações.

Outra empresa chamada *DUS Architects*, em Amsterdã, desenvolveu outra impressora com tecnologia FDM, utilizando o material de polipropileno que são usadas em pequenas dimensões para ser montadas como um quebra-cabeça, ou seja, unindo-as para formar cômodos e unidos os cômodos para formar casas.

Após pesquisas feitas sobre casas construídas por polipropileno pode-se concluir que: o material impresso em altas temperaturas tem muito menos resistência do que material tradicional assim não podendo ser aplicado para criar estruturas habitacionais; resistente a chuva e neve, no qual o material bloqueia toda a água; isolador de calor. Para utilização do polipropileno como material de impressão recomenda aumentar a impressora e deve ser usado apenas como molde para concreto.

### **6.2.2 Pontes com impressão 3D**

Os chineses provaram que a impressora 3D não serve só para construir bonecos ou maquetes. As impressoras 3D estão sendo usadas na construção civil, como exemplo uma ponte construída em Shangai, a maior de todas já construídas.

A ponte foi desenvolvida por uma equipe da Universidade de Arquitetura de Tsinghua, em Bejing e projeto baseado na Ponte Zhaozhou, que foi usado 450 horas para realizar o projeto, aproximadamente 18 dias. Segundo reportagem do *TECMUNDO* (2019), o professor da universidade diz que: “O tempo e custo da ponte 3D foram o equivalente a dois terços do período e valor que seriam gastos na construção de uma ponte similar pelos meios tradicionais”. Mostrado a ponte na figura 23.

Figura 23 - Ponte impressa em 3D na China.



Fonte: (TECMUNDO, 2019)

A ponte é composta por 44 unidades de blocos de concreto impressos individualmente em uma única impressora 3D, além de 68 chapas e medindo mais de 26 metros de comprimento. As peças foram impressas usando dois braços robóticos no qual foram responsáveis pela montagem da ponte. Apresentado na figura 24.

Figura 24 - Blocos de concreto impressos.



Fonte: (TECMUNDO, 2019)

Na ponte foram feitos testes para garantir que a passagem de pedestres é segura, no qual foi instalado com um sistema de monitoramento em tempo real, mostrando vibração e tensão com alta precisão.

### 6.2.3 Casas com impressão 3D

Uma startup ICON, localizada no Texas, criou um equipamento de impressora 3D de uma tonelada chamada de Vulcan que é capaz de construir uma moradia de 55 a 74 metros por apenas R\$ 16.000,00 de custo em apenas 24 horas.

A impressora é ecologicamente correta, pois a impressão gera praticamente zero resíduos e eficiência energética pois é movido por 6 motores elétricos.

#### 6.2.3.1 Como as casas são feitas?

A impressora tem uma dimensão de 6,9 m x 3,3 m x comprimento que varia de acordo o tamanho da obra. A impressora trabalha semelhante as impressoras normais de CC, sendo primeiramente os engenheiros desenha o projeto digital 3D no software, que transmite o desenho para a linguagem da impressora para determinar os movimentos ao logo do trilho percorrido. Exibido na figura 25.

Figura 25 - Estrutura da impressora 3D Vulcan.



Fonte: (TECTUDO, 2018)

A parede é composta por argamassa composta de areia, cimento e plastificantes. O material é despejado em camadas de 7,6 cm x 10,1 cm. A parte onde a impressora coloca o material, é chama de funil, no qual tem uma chave de detecção que mostra se é necessário adicionar mais massa para a parede ficar com uma boa resistência. Como mostrado na figura 26 os detalhes da casa impressa.

Figura 26 - Detalhes de uma casa impressa com a Vulcan (Tectudo, 2018).



Fonte: (TECTUDO, 2018)

Depois de processo de impressão, é necessária fazer os acabamentos como porta, janelas, pintura e telhado, a partir de métodos convencionais.

De acordo com a startup, as casas podem durar iguais ou mais que as casas construídas no método convencional. E depois de tudo concluídos estão prontas para ser habitadas.

A figura 27 mostra as casas prontas para ocupação.

Figura 27 - Casa Feita com impressora 3D Vulcan



Fonte: (TECTUDO, 2018)

## 7. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise sobre as impressoras 3D na construção civil, com o objetivo de apresentar a tecnologia e as práticas já executadas na construção civil de prédios, casas, pontes e entre outros exemplos. A tecnologia 3D veio para mudar a história na indústria, no qual ela reduz custos, poucos resíduos, pouco mão de obra e mais rapidez no processo de produção.

Verificou-se vários tipos de impressoras pioneiras para técnica de impressão 3D, como a FDM que usa plástico derretido, SLA que usa laser para camadas de resinas e a SLS que usa laser para camadas de pó. As tecnologias vêm sendo usadas em diversas áreas de profissão como medicina, marinha. Na construção civil ela vem sendo usada para impressão de protótipos ou detalhes mínimos de construções mais complexas.

Uma das hipóteses citadas no estudo foi: Quais são as aplicações usadas na construção civil? Essa hipótese pode ser respondida a partir de maquetes de protótipos, maquetes de detalhes mínimos de construções antigas e além de casas. Prédios, pontes já construídas a partir de uma impressora 3D com impressão *in-situ* e edifícios montados com estruturas impressas em fabricas.

Outra hipótese citada no estudo foi: Quais são os materiais de construção civil fabricado pela impressora 3D? Os materiais impressos na impressora, são a extrusão do concreto ou a deposição de pó seletivamente endurecido, no qual o traço da mistura já são a base da construção como areia, cimento e água. As impressoras de materiais cimentícios são formadas por sistema de bocal, braços robóticos movimentam-se em duas faixas e máquinas com um braço robótico.

A experiências de impressão 3D na construção civil vem sendo usado no mundo todo, no qual nos países como China, Holanda são utilizadas na construção de edifícios. Já no Brasil a impressora de materiais cimentícios não chegou ainda, então são usadas mais as impressoras de SLA para construção de maquetes, sendo utilizadas para protótipos de testes de construção.

O tema apresenta falta de dados, tais como, custo do concreto para impressão, qualidade do concreto, resistência do concreto, prazo mais preciso, falta de montagem estruturais como ferros nas vigas e pilares. Assim a comparação com a prática construção convencional não foi possível ser realizada.

Com base nos resultados obtidos nas pesquisas e escrito neste texto monográfico, recomenda-se trabalhos futuros sobre: integração de ferros nas vigas e pilares com a impressão de concreto; integração de sistemas elétricos e hidráulicos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DPRINTING, **Sonho ou realidade? Brasil na rota do primeiro protótipo de impressora 3D de cimento da América Latina**, 2017. Disponível em: <http://www.3dprinting.com.br/sonho-ou-realidade-brasil-na-rota-do-primeiro-prototipo-de-impressora-3d-de-cimento-da-america-latina/>, acessado em 04/11/2018.

AGUIAR, **Construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D**, 2014. Disponível em: <http://sinect.com.br/anais2014/anais2014/artigos/tic-no-ensino-aprendizagem-de-ciencias-e-tecnologia/01409583389.pdf>, acessado em 10/05/2019.

ALYSON TABOSA, **Indústria 4.0 e a construção civil no Brasil**, 2017. Disponível em: <http://blog.coteaqui.com.br/industria-4-0-e-a-construcao-civil/>, acessado em 04/11/2018.

ANDRÉ LUIZ, **Maior ponte construída com impressoras 3D fica pronta em apenas 18 dias**, 2019. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/138407-maior-ponte-construida-impressoras-3d-pronta-18-dias.htm>, acessado em 14/05/2019.

CARRARO, F., SIQUEIRA, D., MELHADO, S. **Qualidade do Projeto: Uma Comparação entre a Indústria Seriada a Indústria da Construção Civil**. Escola Politécnica da USP, 2016, disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP1997\\_T3213.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP1997_T3213.PDF), acessado em 14/05/2019.

CNI (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA), **Desafios da Indústria 4.0 no Brasil**, 2016, Brasília, 7 folhas, Artigo, Brasília. Disponível em: [www.pedbrasil.org.br/ped/artigos/079F8BA3E7E5281B.0%20no%20Brasil.pdf](http://www.pedbrasil.org.br/ped/artigos/079F8BA3E7E5281B.0%20no%20Brasil.pdf), acessado em 03/11/2018.

CONTOUR CRAFTING, **Home**, 2016. Disponível em: <http://www.contourcrafting.org>, acessado em 04/11/2018.

COSTA, D., LEITE, R. **Caderno de casos de inovação na construção civil**, CBIC, 2014. Disponível em: [http://cbic.org.br/caderno\\_inovacao/caderno%20inovacoes%20abril\\_2014%20web.pdf](http://cbic.org.br/caderno_inovacao/caderno%20inovacoes%20abril_2014%20web.pdf), acessado em 14/05/2019.

CRAFT, **Coutour Crafting**, disponível em: <http://www.craft-usc.com/technologies/contour-crafting/>, acessado em 04/11/2018.

FOCCOERP, ROBSON RIZZOTTO, **Indústria 4.0 Guia Completo Da Indústria Do Futuro**, disponível em: [https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/21823/1501074484ebook\\_industria\\_4.pdf](https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/21823/1501074484ebook_industria_4.pdf), acessado em 19/09/2018.

IBGE, **Aglomerados Subnormais**, disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?edicao=16119&t=sobre>, acessado em 22/10/2018.

FURTADO, **Indústria 4.0: A quarta Revolução Industrial e os desafios para a indústria e para desenvolvimento brasileiro**, 2017, 54 páginas, IDEI – Instituto de estudos para o desenvolvimento industrial.

VENDRAMI, **O Uso De Impressora 3d Na Construção Civil**, 2016, disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/2016/09/o-uso-de-impressora-3d-na-construcao-civil/>, acessado em 19/09/2018.

KHOSHNEVIS, B., ZHANG, J. **Extraterrestrial Constructing Using Contour Crafting**, 2012.

VINHAS, **Revolução Industrial**, disponível em <http://revolucao-industrial.info/>, acessado em 24/10/2018.

LE, T., AUSTIN, S., LIM, S., et al. **Mix design and fresh properties for high performance printing concrete**. *Materials and Structures*, 45(8), 1221–1232. 2012

LIM, S., BUSWELL, R., LE, T., et al. **Developments in construction-scale additive manufacturing processes**. *Automation in Construction*, 21, 262-268. 2012.

GARCIA, **Desenvolvimento E Fabricação De Uma Mini-Impressora 3d Para Cerâmicas**, 2010, 105 folhas, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: USP.

CUNICO, **Impressoras 3d: O Novo Meio Produtivo**, editora Concep3d Pesquisas Científicas, 2015.

SCULPTEO, **Concrete 3D printer: the new challenge of the construction business**, 2018, disponível em <https://www.sculpteo.com/blog/2018/01/03/concrete-3d-printer-the-new-challenge-of-the-construction-business/>, acessado em 04/11/2018.

SIGNIFICADOS, **Significado da Segunda Revolução Industrial**, 2017, disponível em <https://www.significados.com.br/segunda-revolucao-industrial/>, acessado em 28/10/2018.

SIGNIFICADOS, **Significado da Terceira Revolução Industrial**, 2018, disponível em <https://www.significados.com.br/terceira-revolucao-industrial/>, acessado em 28/10/2018.

SOUZA, **Quer uma impressora 3D? Veja os cuidados que você precisar ter antes de comprar**, Techtudo, 2016, disponível em <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2016/01/quer-uma-impressora-3d-veja-os-cuidados-que-voce-precisar-ter-antes-de-comprar.html>, acessado em 12/05/2019.

COELHO, **Cinco fatos sobre a impressora 3D Vulcan, que constrói casa em 24 horas**, Techtudo, 2018, disponível em <https://www.techtudo.com.br/listas/2018/07/cinco-fatos-sobre-a-impressora-3d-vulcan-que-constroi-casa-em-24-horas.ghtml>, acessado em 14/05/2019.

PORTO, **Estudo Dos Avanços Da Tecnologia De Impressão 3d E Da Sua Aplicação Na Construção Civil**, 2016, 93 folhas, Projeto de Graduação, Universidade Federal Rio de Janeiro, disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019793.pdf>, acessado em 19/09/2018.

WOLFES, R. **3D Printing of Concrete Structures**. Graduation Thesis, Eindhoven University of Technology, 2015, disponível em: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/47026521/795000-1.pdf>, acessado em 14/09/2019.