



centro universitário  
**unifacvest**

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RÔMULO FELIPE ALVES BONFIM

**TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E A SUA APLICAÇÃO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

LAGES

2020

RÔMULO FELIPE ALVES BONFIM

**TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E A SUA APLICAÇÃO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário  
UNIFACVEST, como parte dos requisitos  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Coorientador: Me. Aldori Batista dos Anjos

LAGES

2020

RÔMULO FELIPE ALVES BONFIM

**TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E A SUA APLICAÇÃO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário  
UNIFACVEST, como parte dos requisitos  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Me. Aldori Batista dos Anjos

Lages, SC \_\_\_\_/\_\_\_\_/2020. Nota \_\_\_\_\_

(data da aprovação)

\_\_\_\_\_

(assinatura do orientador do trabalho)

---

Coordenador do curso de graduação em Engenharia Civil

Msc. Aldori Batista dos Anjos

LAGES  
2020

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, que me deu saúde e forças para superar todos os momentos difíceis a que eu me deparei ao longo da minha graduação, ao meu pai Caetano, e minha mãe Cirlêdes, por serem essenciais na minha vida e a toda minha família e amigos por me incentivarem a ser uma pessoa melhor e não desistir dos meus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho, sempre segurar minha mão nessa jornada, confortando meu coração e não me permitindo desistir.

Ao universo por me proporcionar essa experiência e sair do conforto do lar, e através dessa atitude trazer tantos e tantos ensinamentos ao longo desses 5 anos de graduação e viagens de quase 2.300km de ônibus que chegaram a demorar 45 horas para estar de volta no conforto do lar.

A espiritualidade e meus mentores por estarem sempre me vigiando e guiando o melhor caminho mesmo que não entenda no momento.

Ao meu pai Caetano Bomfim por ser minha inspiração a minha amada mãe Cirlêdes Alves por ser sempre essa grande mulher batalhadora e por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu período escolar.

Aos meus irmãos Janaína, Thainá e Caio que apesar das discussões sempre me apoiaram, muito obrigado pela paciência e por acreditarem no meu potencial, foi um caminho difícil, mas conseguimos.

A minha vó Mimi, tia Januária e Camilla que sempre mandavam mensagens procurando saber se estava precisando de alguma coisa, saber como estava, falando que todos estavam com saudades... Eu sei o quanto de saudades senti de cada pessoa querida que tive que me afastar temporariamente para realizar mais esse sonho na Serra Catarinense, muito obrigado por tudo!

Aos meus padrinhos, tios e tias da capital Paulista que sempre se mostraram presentes para me ajudar.

Aos meus pais adotivos Vilmar e Neusa e sua filha Mayara, muito obrigado pelo companheirismo, pelo apoio, histórias, lugares que visitamos, por todo conhecimento que nunca negaram passar, indicações, conselhos, vocês foram meu braço direito em várias situações e nunca mediram esforços para me ajudar.

As amigas que fiz e levarei para minha vida, em especial Rosemeire e Giancarlo, e aos tantos outros que sei que compartilhamos muitos momentos

de felicidades, tristezas, risadas, choros, e aprendizados e tudo isso levarei para a vida inteira junto comigo, como recordação e lembrança.

Também não poderia esquecer de todos meus clientes, facilitadores e propagadores do meu trabalho que foi fundamental para meu mantimento aqui e a minha principal fonte de renda por esse longo período de 5 anos de bons papos, troca de valores, desabafos, amizades feitas, imitações de sotaques, indicações e a gratidão e felicidade de estar cada vez mais próximo de realizar esse sonho, muito obrigado mesmo!

A todos os alunos da minha turma, pelo ambiente no qual convivemos e solidificamos os nossos conhecimentos, troca de experiências, pelos momentos de descobertas e aprendizado que foram fundamentais na elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Aos Professores da minha graduação que contribuíram em todo conhecimento adquirido e alguns eram além de professores, exemplos de seres humanos e por nos mostrar que o ensino deve ser feito com amor e dedicação, em especial ao Steffen, Arlindo, Mônica, Ostrowski, Samuel, Caetano, Afonso e Aldori, tenho muito orgulho de vocês, estão sendo a minha inspiração para fazer mestrado, muito obrigado!

A todos, muito obrigado,  
Rômulo Bonfim.

*“Para realizar grandes conquistas,  
devemos não apenas agir, mas também  
sonhar; não apenas planejar, mas também  
acreditar.”*

- Anatole France

## RESUMO

A impressão em formato tridimensional é um dos desenvolvimentos mais promissores da atualidade. Ela mostrou seu elevado potencial em uma ampla gama de aplicações, variando do mundo moderno da medicina à altamente tecnológica indústria de alimentos e do ainda mais moderno setor aeroespacial e também para a engenharia de uso doméstico. Sem surpresa alguma, a renomada indústria da construção civil adotou também essa técnica visando aplicá-la em uma escala maior, sendo assim, a impressão 3D em concreto se mostrou resultar em um método de construção de baixo custo e de alta velocidade permitindo assim uma maior liberdade de aplicações em projeto arquitetônicos e estruturais. Apesar destes benefícios claros mostrados por muitos institutos renomados e conceituadas empresas pioneiras nesta técnica que se encontram espalhadas pelo mundo, a indústria da construção ainda está atrasada no desenvolvimento da impressão 3D. Isso pode ser atribuído à falta de pesquisa fundamental sobre o comportamento (estrutural) das formas e materiais a serem impressos.

As relações entre os intervalos de tempo de impressão (ou seja, o tempo necessário para imprimir uma nova camada no superior da anterior) e a força de união que é aplicada de formas variadas, mostrando uma melhoria na interação entre as camadas sobrepostas à medida em que a velocidade da impressora aumenta. Uma revisão de experiências recentes nos mostra que com a evolução da tecnologia é possível conceber estruturas completas de concreto até edifícios a partir de tais impressoras. No entanto, essas experiências ainda seguem muito fragmentadas. O impacto da impressão tridimensional em concreto é finalmente mostrado para diferentes estratégias da dita impressão, como velocidade, tamanho da camada e ambiente de impressão. Uma redução da altura da camada é benéfica para a resistência geral desenvolvida, mas, aumenta fortemente o tempo total de construção. Aqui será apresentado algumas evidências que demonstram a aplicação desta técnica na construção civil.

Palavras-Chave: Tecnologia, Impressão tridimensional, construção, desenvolvimentos, aplicabilidade.

## ABSTRACT

Three-dimensional printing is one of the most promising developments today. It has shown its high potential in a wide range of applications, ranging from the modern world of medicine to the highly technological food industry and the even more modern aerospace sector and also to engineering for domestic use. Unsurprisingly, the renowned construction industry has also adopted this technique in order to apply it on a larger scale, thus, 3D printing in concrete has been shown to result in a low cost and high speed construction method thus allowing greater freedom of applications in architectural and structural design. Despite these clear benefits shown by many renowned institutes and renowned companies pioneering this technique that are spread around the world, the construction industry is still lagging behind in the development of 3D printing. This can be attributed to the lack of fundamental research on the (structural) behavior of the forms and materials to be printed.

The relationships between the printing time intervals (that is, the time needed to print a new layer on top of the previous one) and the bonding force that is applied in different ways, showing an improvement in the interaction between the overlapping layers as that the speed of the printer increases. A review of recent experiences shows us that with the evolution of technology it is possible to design complete concrete structures up to buildings from such printers. However, these experiences are still very fragmented. The impact of three-dimensional concrete printing is finally shown for different strategies of said printing, such as speed, layer size and printing environment. A reduction in the height of the layer is beneficial for overall strength

developed, but it greatly increases the total construction time. Here will be presented some evidence that demonstrates the application of this technique in civil construction.

Keywords: Technology, three-dimensional printing, construction, developments, applicability.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 TÍTULO DA PESQUISA .....	15
3 JUSTIFICATIVA .....	15
4 PROBLEMATIZAÇÃO .....	16
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	16
5.1 Breve Histórico Sobre Impressoras 3D.....	16
5.2 Materiais .....	17
5.3 Técnicas de impressão tridimensional de concreto e materiais cimentícios .....	18
5.3.1 Construção por contornos ( <i>Contour crafting</i> - CC) .....	18
5.3.2 Impressão em concreto (Concrete Printing – CP) .....	21
5.3.3 Forma D (D-Shape) .....	22
5.4 Análise Comparativa das Principais Tecnologias .....	23
5.5 Aplicações .....	27
5.6 <i>Building Information Modeling</i> (BIM) .....	29
6 OBJETIVOS .....	29
6.1 Objetivo Geral .....	29
6.2 Objetivos Específicos .....	30
7 HIPÓTESE.....	30
8 METODOLOGIA .....	30
9 CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

**Lista de abreviaturas e siglas**

**3D** três dimensões 3DP impressão tridimensional (3D print)

**BIM** modelagem da informação de construção (Building Information Modeling)

**CAD** desenho assistido por computador (computer-aided design)

**CC** construção por contornos (Contour Crafting)

**FDM** Modelagem por Fusão e Deposição

## Lista de Figuras

Figura 1 - Parede impressa. Fonte: CONTOUR CRAFTING (2016).....	19
Figura 2 - Conjunto do Bocal. Fonte: KHOSHNEVIS (2004) .....	19
Figura 3 - Esquema de construção com Contour Crafting. Fonte: CONTOUR CRAFTING (2016) .....	20
Figura 4 - Concrete Printing. Fonte: LIM et al. (2012) .....	21
Figura 5 - Concrete Printing. Fonte: LIM et al. (2012) .....	21
Figura 6 - O sistema D-Shape de perto. Fonte: SHER (2019).....	22
Figura 7 - Radiolaria, a primeira escultura impressa em 3D de grande formato e geometricamente complexa, projetada por Andrea Morganti. Fonte: SHER (2019) ....	23
Figura 8 - Similaridades entre os processos. Fonte: Adaptado de LIM et al. (2012)....	25
Figura 9 - Evolução do Mercado de impressão 3D.....	27
Figura 10 - Camadas impressas colapsadas por seu próprio peso (Le, et al., 2011) ..	28

**Lista de Tabelas**

Tabela 1 Comparação Contour Crafting x Construção Convencional.

Fonte: KHOSHNEVIS (2004) .....20

Tabela 2 Comparação entre tecnologias de impressão de para construção civil.

Fonte: Adaptado de LIM et al. (2012) .....26

## 1 INTRODUÇÃO

A impressão tridimensional nada mais é que um processo para criar um objeto físico a partir de um modelo digital 3D, geralmente sendo estabelecido em muitas camadas finas e sucessivas de um material, quanto menor a espessura dessas camadas, melhor é a qualidade do objeto. Ele traz um objeto digital em (CAD) adicionando camada por camada de materiais.

Grande parte da produção nas indústrias é robotizada devido aos avanços tecnológicos no século XXI. Roupas, calçados, carros e outras manufaturas são fabricados de forma automatizada. Em paralelo, a padronização dos processos, ligada ao controle de qualidade dos serviços e ao desenvolvimento de novas tecnologias foram fundamentais para um aumento de eficiência e ganhos de resultado. Com a produção em larga escala, há tendência a globalização que implicou no aumento da concorrência nos mercados e que as empresas para se manterem competitivas devem buscar a melhoria contínua.

Por outro lado, a indústria da construção civil é uma das mais atrasadas do ponto de vista tecnológico. As evoluções nas técnicas de construção não são aplicadas no mesmo ritmo que avanços em áreas como informática ou nanotecnologia. A execução do edifício ainda depende principalmente de mão de obra braçal, como no assentamento de tijolos para execução de uma parede.

Neste cenário, estuda-se a viabilidade da construção de edificações por meio de impressoras 3D. De acordo com ANDERSON (2012), estamos entrando em uma nova Revolução Industrial, visto que a popularização do emprego das impressoras 3D prenuncia outra forma e modo de produção. A utilização dessas máquinas na engenharia civil apresenta-se como uma opção para reduzir custos, prazos e impactos ambientais.

## **2 TÍTULO DA PESQUISA**

Tecnologia de Impressão Tridimensional e a sua Aplicação da Construção Civil.

## **3 JUSTIFICATIVA**

Lembrando que em uma obra de sistema convencional, por exemplo, há muito desperdício de recursos e tempo com retrabalho, seja por erros de projeto, falta de qualidade da mão de obra, controle tecnológico dos materiais, verificação dos serviços, análise de risco ou treinamento adequado. Novas tecnologias estão surgindo para tornar o serviço mais eficiente, no entanto para Oliveira (2015), a popularidade sem igual da alvenaria como sistema de fechamento mostra como a construção brasileira ainda mantém o tradicionalismo de gerações passadas.

Nesse sentido, a proposta de execução de uma casa com uma impressora 3D pretende resolver os gastos com retrabalho. Como a parte estrutural e praticamente toda a vedação é feita de forma automatizada pela impressora, reduz-se os contratemplos de erro humano. Vale ressaltar que a precisão de execução da máquina é superior à de um trabalhador, além de seguir fielmente o projeto, não há margem a más interpretações de leitura do projeto.

Paralelamente, a sustentabilidade vem tendo cada vez mais enfoque nos projetos de construção. O acelerado crescimento populacional, principalmente nos centros urbanos, gera um aumento na demanda de habitações. Estas consomem uma enorme quantidade de recursos naturais e, ao mesmo tempo, geram toneladas de resíduos, não concluindo o ciclo produtivo, e com isso causam graves impactos ambientais (KHOSHNEVIS, 2004).

Levando isso em consideração, a tecnologia da impressora pretende diminuir substancialmente os desperdícios da indústria manufatureira. Isso porque ela possui uma elevada precisão, reduzindo o consumo de materiais e energia, assim como os gastos com transporte de pessoas, material e equipamentos também são minimizados. Além disso, não há emissões de resíduos, ruído, poeira ou substâncias prejudiciais, além de tornar o trabalho mais seguro em todo o processo de construção, pois é simples estabelecer procedimentos para a análise de risco e falha durante a construção. Sendo

assim, resultaria lesões de menor gravidade e em menor número nas atividades, menor contato do trabalhador com substâncias perigosas, menor exposição a substâncias químicas levadas pelo ar, e ao ruído.

#### **4 PROBLEMATIZAÇÃO**

O seguinte trabalho acadêmico tem como objetivo apresentar aspectos de como o método construtivo que utiliza a tecnologia de impressão 3D que não só gera economia e mais praticidade para a construção quanto torna o trabalho mais seguro em todo seu processo, além de ser uma forma mais sustentável por gerar menos resíduos.

#### **5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

##### **5.1 Breve Histórico Sobre Impressoras 3D**

As primeiras tecnologias de impressão 3D surgiram no início da década de 80 e foram chamadas de tecnologias de Prototipagem Rápida. O nome refere-se ao fato que processos foram originalmente concebidos como um método rápido e mais rentável para a criação de protótipos para o desenvolvimento de produtos dentro da indústria. O primeiro pedido de patente para trabalho com Prototipagem Rápida foi de Hideo Kodama do Instituto de Pesquisa Industrial do Município de Nagoya. Todavia, considera-se como origem das impressoras 3D a patente de 1986 de Charles Hull.

Charles Hull, engenheiro formado na Universidade do Colorado, é o inventor da Estereolitografia, primeiro protótipo de tecnologia conhecida como impressora 3D. Hull desenvolveu em 1983 a tecnologia que viria a ser a máquina, que além de criar lâmpadas para solidificação de resina, confeccionava partes de plástico de forma rápida. Observa-se que na época a impressora já apresentava características como flexibilidade e rapidez.

Com a evolução das impressoras 3D, para tornar real uma ideia, não é mais necessário investir em fábricas ou em mão de obra vasta, e assim, fabricar produtos se tornou um privilégio para muitos. Nota-se que a indústria está cada vez mais digital, os objetos físicos começam como projetos em telas e podem

ser compartilhados on-line como arquivos. Uma vez que os projetos dos produtos são feitos em computadores, qualquer pessoa pode produzi-los. A fabricação controlada por computador e por meio da impressão 3D já tem capacidade de produzir em escalas tão pequenas como em bioengenharia, quanto tão grandes como construção civil. Nestes processos, o custo da complexidade e a qualidade do produto para uma menor escala é menor que na fabricação tradicional.

A medida que a demanda por produtos sob medida e de fabricação personalizada aumentam, as impressoras 3D se destacam pela sustentabilidade. Os custos de transportes são menores, visto que a produção pode ser feita no próprio local de utilização do produto. Além disso, os desperdícios são desprezíveis, pois não se usa mais material do que necessário na impressão. Finalmente, produtos personalizados tendem a ser menos descartáveis, uma vez que os usuários possuem mais afeição a eles, quando comparados a produção em massa.

## 5.2 Materiais

Com a crescente preocupação com a sustentabilidade, busca-se o equilíbrio entre sociedade, economia e meio ambiente nas atividades humanas. Com isso a tendência é a de utilização de materiais mais corretos do ponto de vista do desenvolvimento sustentável. OLIVEIRA (2015) destaca os seguintes parâmetros para a escolha dos materiais:

...“materiais que menos agredam o meio ambiente, de origem certificada e com baixas emissões de CO<sub>2</sub>; com menor geração de resíduos durante a fase de obra; que contribuam para o desempenho das edificações; que suprimam menores áreas de vegetação; que necessitem do menor volume possível de energia e água, tanto na fase de construção como na de uso; e, ainda, que possam ser reaproveitadas ao fim de seu ciclo de vida.” (OLIVEIRA, 2015).

É necessário ressaltar que nenhum material de construção pode ser considerado totalmente sustentável para qualquer uso. A sustentabilidade do material está ligada à situação em que se insere, como por exemplo a função que deve cumprir, local que será aplicado, o modo de produção, região que se localiza a obra e a zona bioclimática (FLORES, 2011).

### 5.3 Técnicas de impressão tridimensional de concreto e materiais cimentícios

A construção civil tem acompanhado os desenvolvimentos em técnicas de impressão 3D e começou a aplicá-los em maior escala. Principalmente a impressão de concreto e materiais cimentícios ultimamente tem ganhado muito interessados no campo da arquitetura e construção. A primeira técnica de impressão 3D para construção civil é chamada de *Contour Crafting*, que é uma tecnologia de fabricação aditiva que usa o controle de computador para formar estruturas de materiais cerâmicos e a base de cimento (WOLFES, 2015).

Além da *Contour Crafting*, há vários grupos de pesquisa que utilizam misturas especiais a base de cimento que podem ser impressos, formando grandes partes que podem ser adequados para utilização como elementos de construção. Um grupo da Universidade de Loughborough desenvolveu em 2008 um sistema baseado na extrusão mais tradicional que eles chamam de *Concrete Printing* que imprime partes a base de cimento. Sua abordagem é muito semelhante ao da operação de qualquer outra máquina de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), no entanto, eles têm produzido peças grandes com todos os tipos de formas, com a possibilidade adicional de elementos internos, tais como a água, de gás ou de eletricidade. Já a técnica chamada de *D-Shape*, criada por Enrico Dini, utiliza um processo de deposição de pó (GARDNER et al., 2013).

#### 5.3.1 Construção por contornos (*Contour crafting* - CC)

A técnica pioneira de impressão com materiais cerâmicos e cimentícios, serviu como base para o desenvolvimento de outras tecnologias. Automatizada por computador, criada e desenvolvida na *University of Southern California*, para entregar uma produção rápida, facilidade de uso, redução significativa de resíduos e economias substanciais de custos.

O *Contour Crafting* foi inicialmente feito com o objetivo de ser utilizado na construção de moldes para a utilização industrial. Porém, seu desenvolvedor *Khoshnevis* percebeu que era possível ir mais longe e levar a técnica também para construção residencial.



Figura 1 - Parede impressa. Fonte: CONTOUR CRAFTING (2016)

A princípio, o Professor *Khoshnevis* iria utilizar a tecnologia da construção por contornos para acelerar o processo de construção. Isto seria acima de tudo útil em locais afetados por algum tipo de catástrofe natural.

Sendo de origem iraniana, *Behrokh* ficou seriamente afetado com a devastação provocada pelos sismos no seu país natal e decidiu utilizar os seus conhecimentos para conceber uma tecnologia que pudesse ser útil no processo de reconstrução.

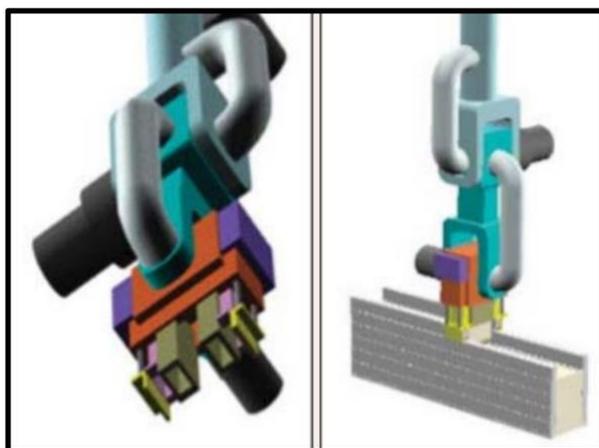


Figura 2 - Conjunto do Bocal. Fonte: KHOSHNEVIS (2004)

De acordo com KHOSHNEVIS (2004), além do grande potencial econômico, a CC foi concebida para proporcionar melhor qualidade de vida, segurança superior, e reduzir o impacto ambiental. Nesta sequência, a técnica

promete a construção de habitações de design personalizado e com baixo custo e um nível de qualidade alto.

O impacto ambiental também pode ser significativo pela economia de energia para a construção e a quase eliminação dos resíduos. A tabela 1 apresenta a economia esperada com emprego da CC comparada a construção convencional.

*Tabela 1 Comparação Contour Crafting x Construção Convencional. Fonte: KHOSHNEVIS (2004)*

Parcela de custo da construção convencional	Devido a	Se automatizado pela Contuor 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 significamente reduzido. O poder muscular será substituído pelo poder cerebral.

Nos dias de hoje, a técnica ainda está em fase de testes e promete entrar no mercado em um ou dois anos. A tecnologia tem uma taxa de construção de 3min/m<sup>2</sup> para elevação das paredes, dessa forma pretende construir uma casa de 200 m<sup>2</sup> em apenas 20 horas, com uma mão de obra de apenas 4 pessoas. A CC pretende construir as paredes das edificações in situ (Figura 3), e realizar as instalações de forma automatizada com braços robóticos (CONTOUR CRAFTING, 2016).



*Figura 3 - Esquema de construção com Contour Crafting. Fonte: CONTOUR CRAFTING (2016)*

### 5.3.2 Impressão em concreto (Concrete Printing – CP)

Apesar das tantas vantagens da *Contour Crafting*, LIM et al. (2012) observaram algumas limitações da tecnologia. O molde, por exemplo, não é descartado e torna-se uma parte da parede. A CC necessita de passos excessivos incluindo moldagem, a instalação de reforço, e a extrusão de concreto para moldar camadas de até 13 mm de altura. Estas limitações encorajou os pesquisadores da *Loughborough* a desenvolverem um outro processo de construção, chamado de *Concrete Printing*. Semelhante a técnica de *Khoshnevis*, a *Concrete Printing* possui processo de construção com base em extrusão de argamassa de cimento.



Figura 4 - Concrete Printing. Fonte: LIM et al. (2012)

A máquina de impressão de concreto tem um quadro de 5,4 m x 4,4 m x 5,4 m (altura) e uma cabeça de impressão que se movimenta uma viga móvel. Um bocal de 9 milímetros está apoiado com a cabeça de impressão para proporcionar o material de extrusão (YOSSEF e CHEN, 2015).



Figura 5 - Concrete Printing. Fonte: LIM et al. (2012)

Um dos subprodutos deste processo é o acabamento da superfície com nervuras, pois a superfície resultante é fortemente dependente da espessura da camada (LIM et al., 2012).

LE et al. (2012) desenvolveram um programa experimental para descobrir a mistura ótima para o concreto de alto desempenho. A busca considera além das propriedades de endurecimento (resistência à compressão de 100 MPa e a resistência à flexão de 10 MPa a 28 dias), mas também requisitos de trabalhabilidade e de extrusão. Uma mistura reforçada com fibra tem sido concebida, contendo superplastificantes e retardador para aumentar a trabalhabilidade e força.

### 5.3.3 Forma D (D-Shape)

D-Shape é um processo de impressão 3D, desenvolvido por Enrico Dini, que assim como a *Contour Crafting* e a *Concrete Printing* é baseada em fabricação aditiva. Porém, a tecnologia dele não imprime peças por meio de extrusão como os outros dois modelos.

Ela usa deposição de pó seletivamente endurecido através da aplicação local de um material ligante. Camadas de areia são colocadas com a espessura desejada e assim compactadas. Uma cabeça de impressão composta com 300 bocais, montada numa estrutura de pórtico de alumínio, se movimenta sobre a área de impressão e deposita o aglutinante, onde a peça deve ser sólida. A técnica pode imprimir até 6 × 6 × 6 m de estruturas arquitetônicas (WOLFES, 2015)



Figura 6 - O sistema D-Shape de perto. Fonte: SHER (2019)

Uma vez concluída, a peça é escavada para fora da camada de pó solto. A areia não endurecida serve como um suporte temporário para as camadas acima, o que permite formas que não podem ser criados por uma camada de material único de extrusão (Figura 7).



*Figura 7 - Radiolaria, a primeira escultura impressa em 3D de grande formato e geometricamente complexa, projetada por Andrea Morganti. Fonte: SHER (2019)*

Uma desvantagem desta técnica, é que a areia tem de ser espalhada e compactada para cada camada. Uma vez que o elemento é completado, toda a areia não utilizada deve ser removida (LIM et al, 2012).

#### 5.4 Análise Comparativa das Principais Tecnologias

As tecnologias CC, *Concrete Printing* e *D-Shape* foram os principais métodos de impressão para a indústria da construção na década passada. Estes processos de impressão serviram como referência para o surgimento de novas tecnologias e para as recentes experiências na impressão de edifícios. Devido a esta relevância no cenário de impressão em concreto, e a maior abundância de informações sobre as técnicas, este tópico faz uma comparação entre os processos.

As três tecnologias são preparadas para impressão de concreto e têm muitas semelhanças em termos de processo de impressão. Todas as tecnologias de impressão são baseadas em fabricação aditiva. No entanto, cada tecnologia tem características distintas. A *Contour Crafting* foi desenvolvida para

ser um dispositivo de estrutura de guindaste (grua) e ser aplicado no local (in situ).

Tanto *D-Shape*, quanto *Concrete Printing* são processos de fabricação baseados em pórticos para fabricação fora do local de aplicação (WU et al, 2016).

Para GARDNER et al. (2013), o processo de impressão por extrusão oferece várias vantagens sobre os outros métodos. Escolhendo uma máquina a base de extrusão, a maior parte do desenho se torna independentemente do material a ser extrudido. Isso permite um certo grau de flexibilidade, de forma que algumas decisões de design podem ser adiadas ou desacopladas uma das outras. Em um sistema de deposição de pó, como *D-Shape*, as características exatas do material de impressão devem ser conhecidas no início do processo de design, sendo que o seu internamento e entrega tornam-se parte integrante do projeto mecânico da impressora. Por outro lado, para uma máquina a base de extrusão, se um melhor material é desenvolvido dentro do tempo de vida útil da impressora, basta uma mudança do fornecimento da cabeça de impressão e do material, mantendo toda a estrutura mecânica intacta.

Outra diferença das tecnologias se refere as soluções relativas as aberturas nas paredes. CC produz elementos verticais em grande parte de compressão. Nas aberturas de portas ou janelas uma verga é necessária, e a parede pode ser colocada acima, evitando impasses com o balanço. Já as tecnologias *D-Shape* e *Concrete Printing* necessitam de apoio adicional para criar estruturas em balanço ou com características de forma livre. *D-Shape* por ser um processo baseado em deposição de pó, utiliza o material não consolidado para apoio. *Concrete Printing* pode usar um segundo material, de maneira semelhante ao FDM. A desvantagem deste tipo de processos é que um dispositivo de deposição adicional requer mais manutenção, limpeza e instruções de controle. A simplicidade de abordagens baseados em pó, tais como a *D-Shape* devem ser equilibradas com os grandes volumes de material que devem ser depositados na área de construção e depois removidos para revelar a peça. Estas semelhanças e diferenças são resumidas na Figura 8 (LIM et al. 2012).

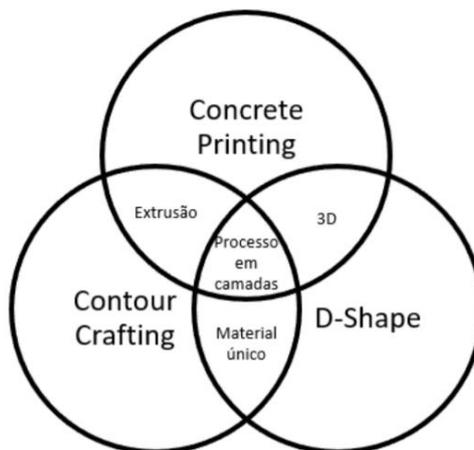


Figura 8 - Similaridades entre os processos. Fonte: Adaptado de LIM et al. (2012)

A resolução de impressão (em termos de espessura de camada) varia de 4 a 6 milímetros nas tecnologias *Concrete Printing* e *D-Shape*, para aproximadamente 13 milímetros na *Contour Crafting*. A espessura de camada é proporcional a velocidade de construção, uma vez que quanto menor a espessura, menor a velocidade de construção. Os fatores de atuação secundários para a resolução de impressão são o tamanho mínimo de detalhe, acabamento superficial e as características do material. Os processos de extrusão são bastante influenciados pelo design da peça, tamanho das partículas que limitam o quão fino será a extrusão e a estabilidade do filamento extrudido para criar uma ligação superior. No processo *D-Shape*, a questão relativa penetração do aglutinante através de cada camada é um importante parâmetro (LIM et al. 2012).

Para LIM et al. (2012) a velocidade de impressão também é afetada pelo material de impressão e/ou taxa de deposição de aglutinante. *Contour Crafting* evita ciclos prolongados entre as camadas, imprimindo uma camada completa com duas passagens da cabeça de deposição. O processo usa um diâmetro grande de extrusão resultando em uma alta taxa de construção de camadas, diminuindo o tempo de impressão. Já a tecnologia *D-Shape* utiliza um pórtico com vários bicos montados em série que requer apenas uma passagem por camada, embora o material de construção deve ser espalhado por toda área de construção, comprimido e achatado. *Concrete Printing* utiliza um único bico de deposição, e ao contrário da *D-Shape*, significa que apenas o material necessário é depositado para a construção. Porém, a abordagem de bico único

inexoravelmente limita a taxa de deposição porque o bocal deve atravessar toda a área de construção. A tabela 2 resume as características de cada tecnologia.

*Tabela 2 Comparação entre tecnologias de impressão de para construção civil. Fonte: Adaptado de LIM et al. (2012)*

	Contour Crafting	Concrete Printing	D-Shape
Processo	Extrusão	Extrusão	Impressão tridimensional
Uso da forma	Sim. Torna-se parte da peça	Não	Primeira tentativa para construção livre
Material de impressão	Mistura de argamassa para molde Material cimentício para construção	Concreto para impressão (fórmula própria)	Material granular (pó de areia/rocha)
Aglutinante	Não. Extrusão de material úmido	Não. Extrusão de material úmido	Matéria a base cloro líquido
Diâmetro do local	15mm	9-20mm	Desconhecido
Números de bocais	1	1	6-300
Espessura da camada	13mm	4-6mm	4-6mm
Reforço	Sim	Sim	Não
Prós	Bom acabamento devido as ações 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

Finalmente, o acabamento e o pós-processamento mudam em cada processo. CC produz um acabamento característico com nervuras, que podem ser controladas e criadas para explorar este efeito. Superfícies lisas, no entanto, demandam o alisamento do material úmido durante o processo de construção, ou a adição de acabamentos convencionais, como gesso ou argamassa sobre o acabamento impresso. O desenho da cabeça de deposição da CC permite a suavização da parte externa das paredes durante a fase de construção. Como a *Concrete Printing*, o processo *D-Shape* resulta numa textura no acabamento, o que solicita moagem e polimento se tal superfície for desejada (LIM et al. 2012).

## 5.5 Aplicações

A utilização das máquinas de prototipagem rápida vem crescendo rapidamente nos últimos anos e a tendência é continuar. Este crescimento se deve à evolução dos processos e a diminuição dos custos das matérias primas bem como do maquinário. A aplicação mais comum da tecnologia ainda se encontra na produção de protótipos, no entanto o mercado para a indústria de impressão 3D tem se mostrado muito promissor, saindo em 2010 de um crescimento de 24,1% e um montante de US\$ 1,325 bilhões para 29,4% e US\$ 1,714 bilhões em 2011 (WOHLERS, 2012). Observa-se pela figura 9 que o tamanho do mercado de impressoras tem projeção de chegar a US\$ 6,5 bilhões em 2019.

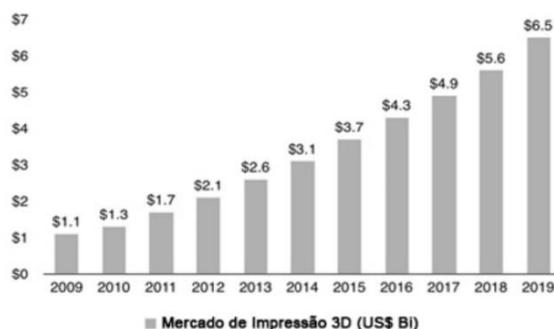


Figura 9 - Evolução do Mercado de impressão 3D

Atualmente a tecnologia de prototipagem rápida é aplicada em diversos setores como o naval, aeroespacial, automotivo, gastronomia, moda, arte, medicina construção civil e no desenvolvimento de produtos de consumo em geral.

Como a proposto como objetivo do trabalho, analisaremos apenas o seu uso na construção civil que tem sido reconhecida como uma indústria que causa significativo impacto ambiental por consumir uma quantidade considerável de recursos. De acordo com ROODMAN e LENSSEN. (1995), a indústria da construção consome mais de 40% de todas as matérias-primas em nível mundial. Também devem-se considerar os seguintes problemas relativos à indústria de construção apontados por WARSZAWSKI e NAVON (1998): baixa eficiência de trabalho em comparação com máquinas automatizadas, alta taxa de acidentes, insuficiente força de trabalho qualificada e dificuldade de aplicar

controles no canteiro de obras. A aplicação da tecnologia de impressão 3D pode minimizar esses problemas.

A construção habitacional foi identificada como uma área que poderia se beneficiar da aplicação de impressão em 3D. Como cada edifício é único, requer um investimento significativo em ferramentas especializadas. Inversamente, uma solução de impressão 3D exige apenas uma mudança no modelo de computador. Dessa forma, espera-se proporcionar melhorias no custo, eficiência, e velocidade para o consumidor e para o contratante (GARDNER et al., 2013).

WU et al. (2016), destaca que a utilização da impressora 3D pode trazer uma melhoria de produtividade em termos de:

a) Redução do desperdício. O processo de impressão 3D permite uma maior precisão da quantidade do material que o objeto requer;

b) Flexibilidade de design. O processo de impressão 3D permite que os projetistas desenvolvam estruturas que são difíceis de produzir usando as atuais práticas de construção;

c) Mão de obra reduzida. Como a maioria processo de impressão 3D é altamente automatizada, a mão de obra intensiva necessária no processo de construção pode ser significativamente reduzida.

d) Tempo de construção pode ser altamente reduzido utilizando impressão 3D. Por exemplo, o tempo de construção de uma parede estrutural foi reduzido em 35% utilizando-se impressão 3D, quando comparado a construção com alvenaria (BUSWELL et al., 2007).



*Figura 10 - Camadas impressas colapsadas por seu próprio peso (Le, et al., 2011)*

Vale ressaltar que o material impresso é capaz de suportar seu próprio peso e das camadas acima. Varias pesquisas e testes mostraram que esse nem

sempre é o caso, dependendo da capacidade de construção (ou seja, resistência ao cisalhamento) da mistura de concreto. Esse comportamento pode resultar em um valor máximo permitido velocidade de impressão, para impedir que as novas camadas cheguem muito cedo às antigas.

### 5.6 *Building Information Modeling* (BIM)

A utilização da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) vem ganhando força na engenharia civil como novo software para modelagem, armazenamento e análise de modelo. Até a década passada, o cenário de ferramentas para modelagem 3D era completamente dominado pelo CAD, tecnologia eficaz para modelar espacialmente, porém que não carrega informações paramétricas. Para MULLER (2015) o BIM é uma evolução do CAD, no qual o projeto é gerado a partir de vetorizações dos componentes, conjuntos simples de linhas e curvas tomando uma forma complexa.

Em comparação com o CAD, o BIM tem a vantagem que seus elementos não são meros elementos gráficos, sejam estes 2D ou 3D. Ao utilizar-se de objetos, e não simplesmente linhas, carregam-se diversos parâmetros, armazenados em uma base de dados, podendo estes ser o material, seu custo, entre outras propriedades. Nota-se também, que os objetos estão definidos para quando houver alguma alteração, o software está automatizado para adequar os elementos vizinhos que de alguma forma estão ligados ao que sofreu modificações.

## **6 OBJETIVOS**

### 6.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho foi realizar um estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil. A técnica pode ser usada tanto para execução de habitações padronizadas, como por exemplo em complexos para famílias de baixa renda, quanto para construções de arquitetura complexa e elaborada. Logo, procurou-se estudar as inovações que a tecnologia 3D traz para construção civil e avaliar o seu melhor emprego.

## 6.2 Objetivos Específicos

- Compreender a funcionabilidade da impressão tridimensional, a tecnologia e todo o seu potencial para a mudança na indústria em geral;
- Abordar as vantagens competitivas que a tecnologia emprega e as inovações incorporadas em diferentes aplicações e mercados;
- Tratar dos avanços nas impressoras e as tendências para os próximos anos.;
- Quais materiais, equipamentos e metodologias vem apresentando bons resultados, assim como as dificuldades e cuidados com a implementação são apresentados.

## 7 HIPÓTESE

Diante da base teórica, analisando a tecnologia da impressão 3D, é possível chegar a seguinte hipótese: obras que utilizam a impressão tridimensional tornam-se mais econômicas, mais rápidas, com menos impactos ambientais, assim, se tornando um método mais sustentável, sem contar que a utilização da impressora pretende tornar o trabalho mais seguro em todo o processo de construção, pois é simples estabelecer procedimentos para a análise de risco e falha durante a construção. Sendo assim, resultaria lesões de menor gravidade e em menor número nas atividades, menor contato do trabalhador com substâncias perigosas, menor exposição a substâncias químicas levadas pelo ar, e ao ruído. em relação as construções em alvenaria que são mais usadas no Brasil.

## 8 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o trabalho foi colher o máximo de informações relevantes sobre a impressora 3D, e sobre as novas tecnologias empregadas na construção civil, fazendo uma pesquisa bibliográfica em relação a esse método construtivo. Procedeu-se um estudo teórico a partir de livros, artigos científicos, revistas de tecnologia, normas, monografias, trabalhos acadêmicos, sites eletrônicos e conhecimento de profissionais da área.

## 9 CONCLUSÃO

Este trabalho teve, entre seus objetivos, apresentar os avanços da impressão 3D, e sua aplicação na construção civil. A tecnologia impressão 3D pode revolucionar a indústria como um todo, de forma que ela reduz os custos para a produção individualizada e para a customização. Essas máquinas possuem tecnologia que gera poucos resíduos, exige menos mão de obra comparada a outros processos construtivos e facilita a criação de protótipos. Enquanto que a construção civil ainda é uma indústria em que grande parte do processo é executada por técnicas artesanais, em contraste ao alto volume de produção e rapidez exigida pelo mercado atualmente. Existem diferentes técnicas para a prototipagem rápida. Essas tecnologias vêm apresentando bons resultados em diversos setores como na marinha, na medicina, engenharia, na aviação, entre diversas áreas.

As experiências de impressão 3D na construção civil se dividem entre protótipos físicos e na construção de edifícios. A utilização da impressora para produção de maquetes no Brasil vem crescendo e a tecnologia pode ser mais usada na fabricação de protótipos para testes na construção. A tecnologia 3D já é utilizada tanto na execução de casas simples e funcionais como em edificações com arquitetura complexa. Foram construídas casas com impressão in-situ, bem como edifícios que foram montados com paredes impressas em fábricas. Ainda há no mercado, uma divergência de opiniões quanto o melhor emprego da impressão na construção civil. Devido as experiências no setor e a rápida evolução da técnica, a impressão de concreto merece atenção como candidata a baratear e acelerar a construção de habitações de forma geral. Para os próximos anos, entretanto, espera-se que a técnica seja mais usada para edifícios de arquitetura rebuscada, uma vez que a tecnologia já provou sua eficiência para a customização e personalização em outras áreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**3D PRINTING INDUSTRY.** History of 3D Printing. Disponível em: < <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginnersguide/history> > Acesso em: 09, Maio, 2020.

**3D SYSTEMS. Sagrada Familia:** Color Jet Printing (CJP) Helps Architects at Sagrada Familia Follow Gaudi's Method While Saving Time and Money. 2016. Disponível em: < <http://www.3dsystems.com/learning-center/case-studies/sagradafamilia-color-jet-printing-cjp-helps-architects-sagrada-familia> > Acesso em: 09, Maio, 2020.

**ANDERSON, C. Makers A Nova Revolução Industrial.** Elsevier Brasil, 2012.

**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. Disponível em: Acesso em: 03, Outubro, 2019.

**BARBOSA, M. T. et al. Concreto Ecológico.** 18º Concurso Falcão Bauer. 2011.

**BBC NEWS, Transplant jaw made by 3D printer claimed as first,** 2012. Disponível em: Acesso em: 23, Outubro, 2019

**DESIDÉRIO, M. A startup brasileira que vai fazer prédios com impressão 3D.** 2016. Disponível em: < <http://exame.abril.com.br/pme/a-startup-brasileira-que-vai-fazerpredios-com-impresao-3d/> > Acesso em: 21, Outubro. 2019.

**FLORES, C. Z. Procedimento para especificação e compra de materiais da construção civil de menor impacto ambiental.** Dissertação (Pós-graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR. 2011.

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

**GOLDBERG, D. History of 3D Printing,** Autodesk, 2014. Disponível em: < <https://lineshapespace.com/history-of-3d-printing/> > Acesso em: 16, Novembro, 2019.

**KARASINSKI, V. Como funciona uma impressora 3D,** TECMUNDO, 2013. Disponível em: < <http://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/38826-como-funcionauma-impressora-3d-ilustracao-.htm> > Acesso em: 21, Novembro, 2019.

**KHOSHNEVIS, B. Houses of the future.** Disponível em: < <http://illumin.usc.edu/assets/submissions/755/Contour%20Crafting%20revision.pdf> > Acesso em: 20, Maio, 2020.

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

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

Le, T., Austin, S., Lim, S., Buswell, R., Law, R., Gibb, A., et al. (2011). **Hardened properties of highperformance printing concrete.** *Cement and Concrete Research*, 42, 558-566.

Le, T., Austin, S., Lim, S., Buswell, R., Law, R., Gibb, A., et al. (2011). **Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete.** *Materials and Structures*, 1221-1232.

MULLER, L. **Utilização da Tecnologia Bim (Building Information Modeling) Integrado a Planejamento 4D na Construção Civil**, Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2015.

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.

ROODMAN, D., LENSSEN, N. **A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns Are Transforming Construction.** Worldwatch Institute, 1995.

SHER, Davide, One-to-one with Enrico Dini, **The Italian who invented binder jetting for construction.** Disponível em: < <https://www.3dprintingmedia.network/one-to-one-with-enrico-dini-the-italian-who-invented-binder-jetting-for-constructions/> > Acesso em: 5, Maio, 2020.

WARSAWSKI, A., NAVON, R. **Implementation of Robotics in Building: Current Status and Future Prospects.** *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 124(1), 31–41, 1998.

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

YOSSEF, M., CHEN, A. **Applicability and Limitations of 3D Printing for Civil Structures.** Iowa State University. 2015.

WU, P., WANG, J., WANG, X. **A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry.** Curtin University, 2016.