

APLICABILIDADE DAS TÉCNICAS DE IMPRESSORAS 3D DA MA NO CONTEXTO DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0 NAS DIVERSAS INDÚSTRIAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Luana Machado dos Santos (FABEC)
luanavip25@hotmail.com

DANIELA SOUSA GUEDES MEIRELES ROCHA (FABEC)
NANISGUEDES@GMAIL.COM

Daniela Almeida Gomes (CESUMAR)
daniela.almeida.br@gmail.com

**Santiago Meireles Rocha (Pontifícia Universidade Católica de
Goiás)**
santiagomeirelesrocha@gmail.com



O artigo tem como objetivo identificar as principais técnicas de impressoras 3D da Manufatura Aditiva (MA) no contexto da Revolução Industrial 4.0, em diversos segmentos de indústria. A pesquisa foi conduzida utilizando-se recursos tanto de dois critérios de

Palavras-chave: Revolução Industrial 4.0; Manufatura Aditiva; Aplicabilidade.

1. Introdução

As indústrias buscam novas tecnologias, visando uma produção mais flexível e ágil, criando produtos cada vez mais personalizados. Com o objetivo de atender esta latente necessidade surgiu a “Revolução Industrial 4.0”, mais conhecida como Indústria 4.0 (HOFMANN, MARCO, 2017).

A partir dos anos 1970, houve o início da adoção da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) nas indústrias. No entanto, as principais ideias da Indústria 4.0 foram publicadas pela primeira vez em 2011. A Indústria 4.0 nasceu na Alemanha, após algumas estratégias que foram elaboradas para o desenvolvimento tecnológico (KAGERMANN, 2013).

Para Rojko (2017) a produção industrial é hoje impulsionada pela concorrência global e pela necessidade rápida da produção em relação aos pedidos de mercado em constantes mudanças. A Indústria 4.0 é uma abordagem promissora baseada na integração dos negócios e o processo de fabricação, bem como a integração de todos os atores envolvidos na cadeia de valor da indústria (fornecedores e clientes).

É caracterizada por um conjunto de inovações tecnológicas, que proporcionam melhorias para a indústria, a partir de máquinas inteligentes e equipamentos para controlar e auxiliar na produção até mesmo sem a intervenção humana (IVANOV *et al.*, 2013; NG *et al.*, 2015). Com isso, o conceito da Indústria 4.0 apresenta-se integrando a automação no processo de fabricação. Desta forma, esse conceito tem favorecido sistemas de produção a partir da autonomia produtiva, permitindo uma maior personalização (SANTOS *et al.*, 2017). Fazem parte das inovações que compõem a Indústria 4.0, as chamadas “Máquinas Inteligentes” que foram desenvolvidas para auxiliar a produção e beneficiar as indústrias, como por exemplo, a Manufatura Aditiva (MA) popularmente conhecida por impressão 3D (DILBEROGLU *et al.*, 2017).

A MA é recente na denominada Indústria 4.0 e compõe as tecnologias que constroem projetos em 3D. Este termo engloba muitas tecnologias, incluindo subconjuntos, como: impressão 3D, Prototipagem Rápida (PR), Produção Digital Direta (PDD), e fabricação de forma livre, em camadas e fabricação aditiva (ASTM F2792, 2010; VOLPATO *et al.*, 2017). A principal

finalidade da MA se encontra na integração rigorosa no processo de fabricação, melhoria contínua e foco nas atividades de agregação de valor, evitando o desperdício (ROJKO, 2017). A pesquisa de justifica ao analisar um estudo apresentado pela Consultoria Accenture estimou que o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, terá um aumento de 21,3% para 24,3% em 2020, sob a influência da Revolução Industrial 4.0, podendo movimentar cerca de R\$ 494 bilhões, mas para tanto, será necessário que o país continue investindo em novas tecnologias (BBC BRASIL, 2016).

Diante deste contexto, a pergunta definida na revisão sistemática é saber: “Quais são as principais aplicações/técnicas da MA na Revolução Industrial 4.0, e quais são os principais segmentos de indústria que mais utilizam este processo?”

O artigo tem como objetivo geral identificar na literatura as principais técnicas de impressoras 3D da MA no contexto da Revolução Industrial 4.0, em diversos segmentos de indústria.

A pesquisa esta dividida em seções, na seção 2 apresenta o percurso metodológico da pesquisa de revisão de literatura, na seção 3 apresenta os resultados obtidos na busca de literaturas nas plataformas, e são descritas as definições do contexto histórico da Revolução Industrial 4.0, e por fim a aplicabilidade da MA nas diversas indústrias e finalmente, as conclusões são apresentadas na seção 4.

2. Metodologia

Trata-se de um estudo descritivo, de revisão sistemática de literatura de natureza qualitativa, que teve como fonte de investigação artigos publicados entre o período de 2010 e 2017. Revisão Sistemática de Literatura é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada (LINDE, WILLICH, 2003).

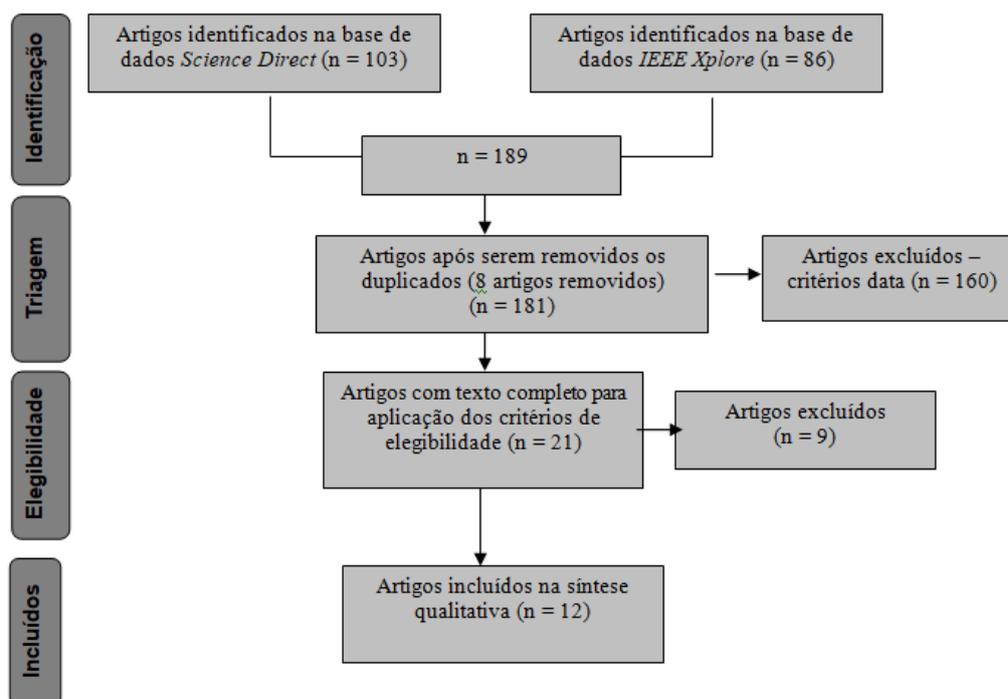
Foram utilizadas para realizar esta revisão as seguintes bases de dados (Plataformas): *Science Direct* e *IEEE Xplore*. As combinações entre as palavras-chave, consideradas descritores, foram: “Revolução Industrial” 4.0 and “Aplicabilidade”. Na realização da pesquisa foram consideradas elegíveis as literaturas que contemplassem os seguintes critérios de inclusão: em idioma português e inglês; textos completos disponíveis em meio eletrônico; pós-graduações *Lato Sensu ou Strictu Sensu*; e publicadas a partir de 2010.

Depois de realizada a busca na literatura das publicações, foi feita a leitura sistematizada dos estudos que passaram pela triagem e tiveram seus conteúdos explorados para uma melhor compreensão dos problemas abordados e das estratégias utilizadas dentro das publicações levantadas. Os estudos que não contemplaram os critérios de elegibilidade foram excluídos como base nos critérios acima apresentados.

3. Resultados e discussão

Na fase inicial foram detectados 189 artigos nas plataformas, ao realizar a filtragem do período de 2010–2017 foram detectados apenas 12 estudos, conforme fluxograma PRISMA.

Figura 1 - Fluxograma dos métodos de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos artigos, de acordo com o PRISMA *Flow Diagram*



Fonte: Autores (2019)

Ao avaliar a literatura após as buscas, houve uma série de refinamentos aos critérios de inclusão, realizados com a leitura dos resumos para a conformação do objeto de estudo, e, quando necessário, a leitura da introdução, objetivos e métodos com o propósito de delinear melhor os contornos da pesquisa, buscando sempre, o enquadramento do recorte escolhido para esta pesquisa.

Os 12 artigos que atenderam aos critérios de inclusão foram selecionados em um banco de dados, tratados com base nas estratégias apresentadas, ano da publicação e local de realização da pesquisa, para posterior análise de conteúdo e investigação da proposta desses artigos científicos por meio de um quadro comparativo (Figura 2).

Figura 2. Síntese dos artigos revisados sobre Aplicabilidade da Manufatura Aditiva no contexto da Revolução Industrial 4.0

Ano/Autores	Objetivos	Resultados
Sreenivasan; Goel; Bouell, 2010	Este artigo tratou de três aspectos da sustentabilidade, conforme se aplica à manufatura aditiva.	A sustentabilidade é a utilização de recursos sem esgotamento ou impacto ambiental adverso. Na fabricação, é importante as questões de sustentabilidade, pois, incluem o consumo de energia, a geração de resíduos, o uso da água eo impacto ambiental da peça serviço.
Berman, 2010	Este artigo examinou as características e aplicações da impressão 3D e comparou com a personalização em massa e outros processos de fabricação.	A impressão 3D permite que pequenas quantidades de produtos personalizados sejam produzidos a menores custos. Embora atualmente, é usado principalmente para fabricar protótipos e maquetes, existem inúmeras aplicações promissoras na produção de peças de reposição, coroas e membros artificiais, bem como na fabricação de ponte.
Strano, 2013	Esta revisão enfatizou as restrições de projetos relacionados à manufatura aditiva e as diferenças que podem aparecer entre o projeto virtual e real.	A impressão tridimensional oferece diversas possibilidades de design que podem ser ligadas a ferramentas de otimização.
Schmitt, et al. 2015	Fornece uma visão geral das combinações existentes de <i>Lean Production</i> e tecnologia de automação, também chamada de <i>Lean Automation</i> . Além disso, discutiui a Indústria 4.0.	O paradigma de produção tornou-se a principal abordagem para criar sistemas altamente eficientes na indústria desde o início dos anos 90. Após o término repentino do Computador Integrado <i>Manufacturing</i> , que finalmente estava fadada ao fracasso devido à sua inquestionável complexidade tecnologia de automação necessária, a abordagem Lean foi bem-sucedida por causa de sua alta reduzindo a complexidade e evitando etapas do processo sem criação de valor. Hoje, o termo Industry 4.0 descreve uma visão de produção futura. Muitas pessoas são, pelo menos, céticas ou até mesmo hostis em relação a isso nova abordagem
Ng e Scharf, 2015	Este artigo considerou as implicações para o <i>Supply Chain Management</i> (SCM) do desenvolvimento do Internet das coisas (IoT) ou <i>Internet Connected Objects</i> (ICO).	Desenvolvemos uma estrutura analítica simples que ilustra os mecanismos subjacentes da escolha de um fornecedor / produtor de produto entre (i) produzir variedades como forma de atender à demanda do consumidor (uma “estratégia de adaptação”), e (ii) oferecer uma plataforma padronizada que permite atender às necessidades dos consumidores incorporando dados pessoais em várias aplicações personalizáveis (uma “estratégia de plataforma”).
Almada-Lobo, 2015	Analisou os ecossistemas de fábricas inteligentes.	Respondendo as demandas dos clientes por produtos sob medida, essas plantas alimentadas por tecnologia facilitadores como impressão 3D, Internet das Coisas, computação em nuvem, dispositivos móveis Dispositivos e <i>Big Data</i> , entre outros, criam um ambiente totalmente novos. O sistemas de manufatura do futuro, incluindo sistemas de execução de manufatura terá que ser construído para apoiar essa mudança de paradigma. Aplicações de monitoramento e controle de produção centralizadas e monolíticas acabará por deixar de existir, dando lugar a soluções capazes de apoiar este visão radicalmente diferente da produção e cadeia de suprimentos conectadas, porém, descentralizadas processos.

Ano/Autores	Objetivos	Resultados
Borges, Hadar; Bilberg, 2015	Exploraram as implicações que as tecnologias MA têm para os sistemas de manufatura nos novos negócios modelos.	Em particular, consideramos como um fabricante de bens de consumo pode organizar as operações de um modelo de negócios mais aberto ao se mudar de um fabricante para uma lógica de valor centrada no consumidor. Uma grande mudança inclui uma mudança de centralizada para cadeias de suprimentos descentralizadas, onde os fabricantes de bens de consumo podem implementar um abordagem com foco em localização e acessibilidade ou desenvolver um modelo totalmente personalizado onde o consumidor efetivamente assume as atividades produtivas do fabricante.
Ford; Despeisse, 2016	O artigo forneceu uma visão geral das tecnologias MA, suas características e uma descrição de suas aplicações industriais.	Este artigo considerou as maneiras pelas quais a MA pode permitir modelos mais sustentáveis de produção e consumo. Pesquisando a adoção de MA através de uma perspectiva de ciclo de vida, foram identificadas quatro categorias principais nas quais a MA possibilita a obtenção de benefícios de sustentabilidade: redesenho de produtos e processos; processamento de entrada de material; componente de fabricação e fabricação de produtos; e fechando o loop. Isso levou à identificação das vantagens de sustentabilidade que a MA traz nos ciclos de vida do produto e dos materiais, além dos desafios que devem ser superados se esses benefícios se concretizarem. Dadas as vantagens que o MA viu nos exemplos, é claro que a MA desempenhará um papel na transição para um sistema industrial mais sustentável, uma vez que a aplicação das tecnologias MA cria oportunidades para uma produção e consumo mais sustentáveis.
Thames; Schaefer, 2016	Este artigo apresentou a noção de SDCM (<i>Software Defined Cloud Manufacturing</i>) no contexto da fabricação.	Muitas das principais nações industrializadas do mundo investiram em iniciativas da MA para promover a fabricação avançada, inovação e design para o mundo globalizado. Grande parte desse investimento foi impulsionada por visões como a Indústria 4.0, que busca alcançar um futuro onde as fábricas inteligentes e a fabricação inteligente. Neste âmbito, inovações como a Internet das Coisas Industrial, Design e Manufatura Baseada na Nuvem e Desenvolvimento de Produtos Sociais surgiram com foco na capitalização dos benefícios e das economias de escala fornecidas pelo Internet Protocol (IP). Recentemente, os autores começaram a considerar como a noção de sistemas definidos por software pode ser aproveitada para alcançar sistemas flexíveis de fabricação em nuvem.
Mrugalska; Wyrwicka, 2017	Analisou o Lean na produção da Indústria 4.0.	<i>Lean Production</i> é amplamente reconhecido e aceito na configuração industrial. Trata-se da integração rigorosa dos seres humanos no processo de fabricação, melhoria contínua e foco nas atividades de agregação de valor, evitando o desperdício. No entanto, um novo o paradigma chamado Indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial surgiu recentemente no setor de manufatura. Permitiu criar uma rede inteligente de máquinas, produtos, componentes, propriedades, indivíduos e sistemas de TIC em toda a cadeia de valor para ter uma fábrica inteligente.

Ano/Autores	Objetivos	Resultados
Rojko, 2017	Apresentou a compreensão dos conceitos da Indústria 4.0, seus direcionadores, facilitadores, metas e limitações.	A indústria 4.0 foi uma iniciativa estratégica recentemente introduzida pelo governo alemão. O objetivo da iniciativa é a transformação da produção industrial por meio da digitalização e exploração de potenciais de novas tecnologias. Um sistema de produção da Indústria 4.0 é, portanto, flexível e permite produtos individualizados e personalizados.
Santos, et al., 2017	Propôs a implementação da arquitetura <i>Big Data Analytics</i> , usando uma organização multinacional (Bosch Car Multimedia - Braga), em um estudo de caso.	Pessoas, dispositivos, infraestruturas e sensores podem se comunicar constantemente trocando dados e gerando novos dados que rastreiam muitas dessas trocas. Isso leva a grandes volumes de dados coletados em velocidades cada vez maiores e de diferentes variedades, um fenômeno atualmente conhecido como Big Data. Em particular, desenvolvimentos recentes em Tecnologias de Informação e Comunicação estão impulsionando a quarta revolução industrial, a Indústria 4.0, sendo dados gerados por várias fontes, como controladores de máquinas, sensores, sistemas de manufatura, entre outros. Juntando volume, variedade e velocidade de dados, com a Indústria 4.0, faz a oportunidade de aumentar a inovação sustentável nas Fábricas do Futuro.

Fonte: Autores (2019)

A discussão aqui apresentada foi subdividida em três categorias, a partir dos resultados encontrados: (1) Revolução Industrial 4.0; (2) Manufatura Aditiva (MA) e (3) Aplicabilidade da Manufatura Aditiva (MA) nas diversas indústrias.

3.1 Revolução Industrial 4.0

O termo Revolução Industrial 4.0 foi divulgado pela primeira vez na Alemanha em 2011. A fim de aumentar a competitividade da indústria do país, o governo se empenhou em apresentar o país como líder de inovação tecnológica, sendo que a Indústria 4.0 faria parte do projeto *High-Tech Strategy 2020*. E, em abril de 2013 foi criado um grupo de representantes do segmento, em que definiram o desenvolvimento da tecnologia da Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Este projeto *High-Tech Strategy* visa à estratégia de alta tecnologia, que está agora sendo desenvolvida com inovação abrangente e interdepartamental. Para esse fim, os alemães estão adicionando novos tópicos e introduzindo novos instrumentos para financiar a inovação. Estão enfatizando um conceito expandido de inovação que inclui não apenas a inovação tecnológica, mas também a inovação social, incluindo a sociedade como um ator central (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Até o momento não existe um conceito claro a respeito da Indústria 4.0, porém, a literatura aborda a definição de uma forma geral, ligando o termo há uma integração das inovações

tecnológicas aplicadas em máquinas, com o auxílio de *softwares* em redes, com o objetivo de controlar, planejar e encontrar melhores resultados nas indústrias. Ou seja, a Indústria 4.0 surgiu como uma estratégia competitiva de mercado (MRUGALSKA, WYRWICKA, 2017).

Um dos problemas identificados na definição da Indústria 4.0 é o fato de que, para uma parcela da sociedade, esta se apresenta como um problema para o mercado de trabalho, substituindo a mão-de-obra por máquinas. É importante ressaltar que a inovação surgiu para auxiliar o sistema produtivo, oferecendo diversos benefícios, como a minimização de risco de acidentes, redução de insumos, além do surgimento de novas funções e postos de trabalho (SCHMIT *et al.*, 2013).

De acordo com Santos *et al.* (2017), para implantação e desenvolvimento da Revolução Industrial 4.0, existem alguns princípios fundamentais, que são: (1) a interoperabilidade - permite integração entre máquinas e processos, interfaces e pessoas; (2) capacidade de operação - enfatiza uma tomada de decisão, durante o processo e a aquisição de dados; (3) a virtualização - permite a criação de máquinas inteligentes que possam rastrear e monitorar todo o processo por diversos sensores; (4) orientação do serviço - tecnologia de Internet das Coisas; e (5) a modularidade - é a flexibilidade para alterar as tarefas que foram programadas de uma forma simples.

A Indústria 4.0 envolve várias inovações tecnológicas, as principais estão apresentadas na Figura 3, que correspondem às principais aplicações no processo de produção de automação e controle, com base na Tecnologia da Informação (TI). Demonstra-se, assim, que as indústrias podem elaborar uma rede ao longo da cadeia de valor, para controlar toda a produção. Assim, podem ainda, criar a opção de agendamento para a manutenção das máquinas, visando à prevenção de falhas que possam ocorrer, além de proporcionar um facilitador para a adaptação às mudanças não planejadas nos processos ao longo da produção (SANTOS *et al.*, 2017).

Figura 3 - Tecnologias de habilidades para a Indústria 4.0



Fonte: Santos *et al.* (2017)

As principais tecnologias envolvidas na Indústria 4.0, com destaque para a “*Internet das Coisas*”, que consiste na concepção de máquinas por meio de dispositivos eletrônicos, que permitem a coleta de dados através de sensores e a comunicação entre máquinas por sistemas de rede (ALMADA-LOBO, 2016). O “*Big Data*” é um sistema de banco de dados que pode identificar uma diversidade de informações, geradas por máquinas e sistemas de fabricação, sendo que esta tecnologia é a chave para inovação sustentável na Indústria 4.0 (LEE, KAO, YANG, 2014). A “*Realidade aumentada*” é encontrada em dispositivos móveis, que possuem uma capacidade elevada de processamento, permite uma representação em tempo real em diferentes cenários, posicionando o usuário e objetos virtuais em mapas tridimensionais, que mesclam imagens provenientes do ambiente real e outras produzidas por *software* (ALMADA-LOBO, 2016).

A tecnologia conhecida como “*MA*”, permite uma produção mais personalizada e que pode mudar todas as cadeias de suprimentos. Esta é capaz de realizar a prototipagem rápida, com a oportunidade de criação de produtos personalizados, produção de pequenos lotes, reduzindo o custo na aquisição de insumos, e não ocasionar desperdícios de matéria prima, assim, reduzindo o tempo (FORD, DESPEISSE, 2016; SANTOS *et al.*, 2017).

Outra tecnologia envolvida na Indústria 4.0 são as “*Nuvens de Computador*” que são utilizadas para o armazenamento de dados de forma segura, em que podem ser descritas como

um modelo de explorar e compartilhar dados armazenados (THAMES, SCHAEFER, 2016; ALMADA-LOBO, 2016). E, por fim, a “Cibersegurança” que é considerada um dos maiores desafios para a Indústria 4.0, pois, consiste na segurança do Sistema de Informação (SI), em que quando há falhas de comunicação nas máquinas este sistema pode interromper toda a produção, provocando assim prejuízos financeiros e até mesmo acidentes (THAMES; SCHAEFER, 2016).

3.2 Manufatura Aditiva (MA)

A MA apresenta diversos tipos de impressoras 3D, que se diferenciam por sua estrutura, material, tamanho, precisão e custo. Neste estudo são descritas as principais técnicas utilizadas em impressoras 3D, são elas: Modelagem de Material Fundido (FDM), Estereolitografia (SLA) e Sinterização Seletiva de Laser (SLS), abordando como funcionam e os tipos de insumos que podem ser utilizados para cada uma (PICESOFTWARE, 2014; OSEJOS, 2016).

A FDM trabalha com a utilização dos filamentos de polímeros termoplásticos, sendo os principais: Poli Ácido Lático (PLA) e Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). Estes filamentos são derretidos e depositados sob uma mesa plana através da deposição de sucessivas camadas bidimensionais, uma sobre a outra. A principal vantagem é ser uma tecnologia de baixo custo em relação as demais (HUANG *et al.*, 2013; PICESOFTWARE, 2014). A principal desvantagem é que em algumas peças, dependendo da sua geometria, necessitam de suporte e o tempo de impressão pode levar de alguns minutos ou até mesmo alguns dias (HUANG *et al.*, 2013; PICESOFTWARE, 2014).

Outra técnica que faz parte da MA é a SLA, em que esta necessita da aplicação de luz ultravioleta sobre uma resina líquida sensível à luz. Seu processo também é realizado por meio de camada por camada. Possui um método muito utilizado para fabricação de peças com altíssima qualidade na produção de protótipos das indústrias (HUANG *et al.*, 2013; PICESOFTWARE, 2014; BORGES, HADAR, BILBERG, 2015).

A grande vantagem da técnica SLA, é a possibilidade de fabricar peças com alta resolução e bordas sem degraus visíveis, portanto com ótimo acabamento, além de ser um dos processos de impressão 3D mais rápidos. Sua desvantagem e a limitação quanto ao tipo de matéria prima, restrita apenas ao uso da resina líquida (HUANG *et al.*, 2013; PICESOFTWARE, 2014; BORGES, HADAR, BILBERG, 2015; VOLPATO *et al.* 2017).

A última descrita neste item é a SLS, citada pelos autores como uma das principais da MA, que apresenta uma similaridade com a SLA, porém permite a utilização de diversos tipos de matéria prima em pó, como: cerâmica, *nylon*, poliestireno, dentre outros. Esta técnica apresenta desperdícios de insumos, o pó que não é usado depois da impressão tem suas características alteradas, e então não pode ser reutilizado, pois vai produzir uma peça com menor qualidade (BORGES, HADAR, BILBERG, 2015; HUANG *et al.*, 2013; PICESOFTWARE, 2014).

Dentre as principais vantagens desta técnica, é o baixo custo dos insumos utilizados na impressão em relação às demais técnicas. Como desvantagem, o processo é lento como as demais, podendo ser mais lento ainda que o FDM, devido à reduzida espessura de cada camada (BORGES, HADAR, BILBERG, 2015; HUANG *et al.*, 2013; PICESOFTWARE, 2014).

É percebido que todos esses equipamentos realizam a impressão no formato camada por camada. No entanto, cada técnica possui uma característica diferente em relação ao processo de fabricação e a diversificação dos tipos de processos, como: *laser* ou feixe de elétrons para derreter ou sinterizar a matéria prima. Além disso, a FDM é a que possui o processo mais acessível se comparado com as demais devido ao reduzido preço do seu filamento (HUANG *et al.*, 2013).

3.3 Aplicabilidade da MA nas diversas indústrias

A aplicabilidade da tecnologia MA nas indústrias tem suas vantagens, como a redução do peso das peças, menor custo dos insumos, a viabilidade de produzir lotes pequenos, dentre outros (LIPSON, MALONE, 2002; BOURELL, LEU, ROSEN, 2009; GUO, LEU, 2013; MANÇANARES, 2016).

Algumas indústrias como na área automotiva, médica, energética, bem como a aeronáutica, produção de joias, a construção civil, arquitetura, dentre outras, já adotaram esta tecnologia, apesar de que ainda existam muitas empresas que possuem a visão de que a MA não é uma manufatura viável para ser implantada dentro do processo produtivo (SREENIVASA, GOEL, BOURELL, 2010; VOLPATO *et al.*, 2017). Não é somente a indústria aeroespacial e aeronáutica que possuem preocupações em relação ao peso e geometria das peças, o setor automotivo, dentre outros, também apresentam esse interesse (LIPSON, MALONE, 2002; BOURELL, LEU, ROSEN, 2009; GUO, LEU, 2013; MANÇANARES, 2016).

As indústrias aeronáutica e aeroespacial foram as mais interessadas em aplicar esta tecnologia, pois, a Manufatura Tradicional (MT) não atendia todas as necessidades de forma rápida, como por exemplo, para suprir a necessidade inerente às complexidades geométricas das peças, o peso dessas peças, ainda tendo que lidar com a restrição pela produção em pequenos lotes. Contudo, ainda há a problemática do longo tempo de impressão, podendo inviabilizar algumas produções em alta escala (MARTINAA *et al.*, 2012; GUO, LEU, 2013; STRANO *et al.*, 2013; METZGER, MUSCATELLO, MUELLER, 2013).

É possível afirmar que a MA tem um menor tempo de produção em alguns casos, principalmente quando são necessárias poucas unidades ou um produto único. O estudo de Mançanares (2016) apresentou um protótipo de um robô composto por peças plásticas, em que o tempo de produção pela MT foi de 32 semanas, e pela MA durou apenas duas semanas. Outro exemplo apresentado é a produção de um motor de satélite, utilizando polímeros, o qual demoraria pela MT 40 semanas, e pela MA o tempo gasto é de apenas uma semana.

Na MT ocorrem atrasos na entrega de um produto, devido a ocorrência de falhas na fabricação das peças, que ocasionam atrasos em todo o processo produtivo. Neste aspecto, a MA atende à todas essas as preocupações, permitindo reduzir o tempo de produção e sendo ágil no processo da fabricação do produto, diminuindo falhas no processo. Um dos exemplos encontrados é a produção de um bloco de motor automotivo pela MA em apenas três semanas. Com isso, percebe-se que a MA atende às necessidades em relação ao tempo na produção ser bem menor que a MT em algumas situações (LIPSON, MALONE, 2002; BOURELL, LEU, ROSEN, 2009; GUO, LEU, 2013; MANÇANARES, 2016).

Vale ressaltar que este tipo de tecnologia está se popularizando não somente nas indústrias, mas também para o uso doméstico, confecção de brinquedos em geral e em setores de confeitaria, destacando a obtenção de customização.

Esta tecnologia substituiu algumas técnicas desenvolvidas na Indústria 4.0, buscou inovações tecnológicas para facilitar o processo de desenvolvimento de projetos e atender a demanda do mercado com total qualidade, rapidez e personalização do produto (DILBEROGLU *et al.*, 2017).

Um estudo apresentado pela consultoria *McKinsey*, mostrou que a MA terá um giro de aproximadamente cerca de US\$ 350 bilhões previsto até 2025 no mundo inteiro. Estes valores

serão distribuídos entre 5% a 10% para indústrias de consumos; 30% a 50% de manufatura direta na fabricação de produtos; 30% a 50% de ferramentas e protótipos de peças, mas não necessariamente para protótipo, e sim para fabricação de peças finais (3D PRINTING, 2017).

Os maiores diferenciais da MA agregados na aplicabilidade na Indústria 4.0 estão na preocupação com desperdício da matéria prima, redução de custo na aquisição de insumos, não ter necessidade de estoque, peças personalizadas independentemente da complexidade da peça e ser um processo mais rápido. Já a MT gera uma elevada quantidade de desperdício de insumos, aumento do quantitativo de funcionários, tempo de fabricação das peças customizadas mais lento, necessita de grandes estoques de matéria prima, dentre outras características (PICESOTWARE, 2014).

Tais tecnologias acarretarão para o futuro, a substituição da MT pelas novas técnicas da MA em diversas situações, agregando diversos benefícios para a Indústria 4.0, a partir dos vários ganhos tecnológicos ao processo de produção em todos os segmentos industriais (BERMAN, 2010).

5. Conclusões

O estudo identificou na literatura as principais técnicas de impressão 3D na MA, são elas: FDM, SLA e SLS, e sua aplicabilidade nos diversos segmentos da indústria, se mostrou eficiente em vários aspectos como a personalização dos produtos, diversidade de matéria prima, reduções de custos e de tempo na produção. Demonstrando assim, que a aplicabilidade das técnicas da MA no contexto Indústria 4.0 foram necessárias para trazer uma produção inovadora a partir de novas tecnologias, devido à demanda das empresas às inovações e a busca por uma produção mais flexível.

Ao analisar a literatura disponível foram encontradas diversas vantagens destas técnicas relacionadas à Revolução Industrial 4.0, a partir das novas tecnologias que vem surgindo, como o caso da MA. Todo esse processo se deu devido à dinamização da indústria, em que os fabricantes enfrentaram os desafios com os prazos, as personalizações e o aumento do envolvimento dos clientes no processo de desenvolvimento do produto.

O presente estudo permitiu o conhecimento da integração das denominadas fábricas inteligente com a alta eficiência, e que são capazes de fabricar produtos customizados em menor tempo e com alta qualidade. Por um lado, os avanços da TIC aceleraram a transição

para o conceito da era Industrial 4.0. De fato, a existência da quarta revolução industrial depende substancialmente da capacidade de investimento tecnológico a partir da MA.

Sugere-se que novos estudos sejam desenvolvidos com outras técnicas de aplicabilidades da MA dentro do contexto da Revolução Industrial 4.0.

REFERÊNCIAS

- ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 3, n. 4, p. 16-21, 2016.
- ASTM. AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. F2792: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. United States, 2010.
- BBC Brasil (22 de Janeiro de 2016). Quarta Revolução Industrial. http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/01/160122quartarevolucao_industrial_mw_ab
- BERMAN, B. 3D printing: The new industrial revolution. **Business Horizons**. v. 55, p. 155-162, 2010.
- BORGES, M; HADAR, R; BILBERG, A. Additive manufacturing for consumer – centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. **Tecnological Forecasting & Social Change**, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.024>.
- BOURELL, D; LEU, M; ROSEN, D. Identifying the future of freeform processing roadmap for additive manufacturing. **Austin: The University of Texas**, 2009.
- DILBEROGLU, U M.; GHAREHPAGAH, B; YAMAN, U; DOLEN, M. The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v.11, p. 545-554, 2017. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.148.
- FORD, S; DESPEISSE, M. Additive manufacturing and sustainability: na exploratory study of the advantages and challenges. **Journal of Cleaner Production**, 2016. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.150.
- GUO, N; LEU, M C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 8, n.3, p.215 – 243, 2013.
- HOFMANN, E; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.
- HUANG, S. H; LIU, P; MOKASDAR, A; HOU, L. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. **Int. J. Adv. Manufacturing Technology**, vol. 67, n. 5- 8, p. 1191-1203, 2013.
- IVANOV, D, DOLGUI, A; SOKOLOV, B; WERNER, F; IVANOVA, M. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386-402, 2016.
- KAGERMANN, H; HELBIG, J; HELLINGER, A, Wahlster, W. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: **Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group**. Forschungsunion, 2013.
- LEE, J; KAO, H-A; YANG, S. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8, 2014.

- LIPSON, H; MALONE, E. Autonomous self – extending machines for accelerating space exploration. **NIAC-CP-01-02**, Phase 1 Final Rep., 2002.
- MANÇANARES, C. G. **Modelo de processo de avaliação para adoção de manufatura aditiva na indústria de alto valor agregado**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.
- MARTINAA, F; MEHNEN, J; WILLIAMS, S.W; COLEGROVE, P; WANG, F. Investigation of the benefits of plasma deposition for the additive layer. **Journal of Materials Processing Technology**, pp.1377 – 1386, 2012.
- METZGER, P; MUSCATELLO, A; MUELLER, R. Affordable, rapid bootstrapping of the space industry and solar system civilization. **Journal of Aerospace Engineering**, v. 26, n.1, p.18-29, 2012.
- MRUGALSKA, B; WYRWICKA, M K. Towards lean production in industry 4.0. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 466-473, 2017.
- NG, I; SCHARF, K; POGREBNA, G; MAULL, R. Contextual variety, Internet-of-Things and the choice of tailoring over platform: Mass customisation strategy in supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 159, p. 76-87, 2015.
- OSEJOS, M; VINICIO, J. **Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes**. 2016. Dissertação de Mestrado. Quito, 2016.
- PICESOFTWARE (15 de Dezembro de 2014). **Impressoras 3D Del Futuro Hoy**. Impressoras 3D el Futuro Hoy: <http://pice-software.com/DetalleBI-og.aspx?b=18>.
- ROJKO. A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. **ijim**, v. 11, No. 5, 2017 <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>.
- SANTOS, M Y; SÁ, J. O, ANDRADE, C; LIMA, F. V, COSTA, E; COSTA, C; MARTINHO, B; GALVÃO, J. A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 6, p. 750-760, 2017.
- SCHMITT, M; MEIXNER, G; GORECKY, D; SEISSLER, M; LOSKYLL, M. Mobile interaction technologies in the factory of the future. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 46, n. 15, p. 536-542, 2013.
- SREENIVASAN, R; GOEL, A; BOUELL, D. Sustainability issues in laser based additive manufacturing. **Physics Procedia**, v. 5, pp. 81-90, 2010.
- STRANO, G; HAO, L; EVERSON, R. M; EVANS, K. E. A new approach to the desing and optimisation of support structures in additive manufacturing. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, n. 66, pp.1247–124, 2013.
- THAMES, L; SCHAEFER, D. Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 12-17, 2016.
- VOLPATO, N; MUNHOZ, A. L., J; COSTA, C. A; AHRENS, C. H; CARVALHO, J; SANTOS, J. R. L; SILVA, J. V. L; FOGGIATTO, J. A; LIMA, M. S. F. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Primeira Edição. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.
- 3D Printing (2 de Agosto de 2017). **A impressão 3D no contexto da indústria 4.0**. <http://www.3dprinting.com.br/noticias/a-impressao-3d-no-contexto-da-industria-4-0/>.