

**IMPRESSÃO 3D: DA PESQUISA AO SETOR PRODUTIVO
UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE SUA EVOLUÇÃO HISTÓRICA, ORIGEM,
TECNOLOGIAS, APLICAÇÕES E INOVAÇÕES**

**3D PRINTING: FROM RESEARCH TO THE PRODUCTIVE SECTOR
AN EXPLORATORY STUDY ON THE ORIGIN, TECHNOLOGIES, APPLICATIONS AND
INNOVATIONS**

**IMPRESIÓN 3D: DE LA INVESTIGACIÓN HASTA EL SECTOR PRODUCTIVO
UN ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA, ORIGEN, TECNOLOGÍAS,
APLICACIONES E INNOVACIONES**

Isabella Sampaio Sampaio, ESP
Universidade Federal da Bahia/Brazil
isabellassampaio@gmail.com

Eduardo Manuel de Freitas Jorge, Dr.
Universidade do Estado da Bahia/Brazil
emjorge1974@gmail.com

José Gileá de Souza, Dr.
Universidade Salvador/Brazil
josegilea@gmail.com

Hugo Saba Pereira Cardoso, Dr.
Universidade do Estado da Bahia/Brazil
hugosaba@gmail.com

RESUMO

A Impressão 3D é uma categoria tecnológica presentes nos processos produtivos do século XXI. Assim, este artigo tem a finalidade de mostrar a relevância do conhecimento sobre tecno-científico e suas transformações físico-virtual e econômico social ao longo do tempo. Além de embasar novas pesquisas e estratégias de inteligência competitiva nas áreas da impressão 3D. Assim, este artigo descreve a evolução histórica da manufatura aditiva e seus impactos na sociedade, apresentando um mapeamento tecnológico realizado por meio de uma revisão sistemática da literatura científica (artigos e patentes) associada à análise bibliométrica. Os resultados e a construção de um novo percurso metodológico baseado nas informações tecnológicas obtidas na pesquisa direcionam para o entendimento da Impressão 3D a partir de um recorte temporal por décadas desde o seu surgimento. Este panorama permitiu a identificação de autores, inventores, instituições de ciência e tecnologia (ICTs), bem como os players mundiais da impressão 3D.

Palavras-chave: Impressão 3D; Mapeamento Tecnológico; Áreas de atuação; Ciência, Tecnologia e Inovação.

ABSTRACT

3D Printing is a technological category present in the production processes of the 21st century. Thus, this article aims to show the relevance of knowledge about techno-scientific and its physical-virtual and social-economic transformations over time. In addition to supporting new research and competitive intelligence strategies in the areas of 3D printing. Thus, this article describes the historical evolution of additive manufacturing and its impacts on society, presenting a technological mapping carried out through a systematic review of the scientific literature (articles and patents) associated with bibliometric analysis. The results and the construction of a new methodological path based on the technological information obtained in the research lead to the understanding of 3D Printing from a time frame for decades since its emergence. This panorama allowed the identification of authors, inventors, science and technology institutions (ICTs), as well as global players in 3D printing.

Keywords: 3D printing; Technological Mapping; Areas of expertise; Science, Technology and Innovation.



RESUMEN

La impresión 3D es una categoría tecnológica presente en los procesos productivos del siglo XXI. Así, este artículo pretende mostrar la relevancia del conocimiento sobre tecnocientífico y sus transformaciones físico-virtuales y socioeconómicas a lo largo del tiempo. Además de apoyar nuevas estrategias de investigación e inteligencia competitiva en las áreas de impresión 3D. Así, este artículo describe la evolución histórica de la fabricación aditiva y sus impactos en la sociedad, presentando un mapeo tecnológico realizado a través de una revisión sistemática de la literatura científica (artículos y patentes) asociada al análisis bibliométrico. Los resultados y la construcción de un nuevo camino metodológico a partir de la información tecnológica obtenida en la investigación conducen a la comprensión de la Impresión 3D desde un marco temporal de décadas desde su surgimiento. Este panorama permitió la identificación de autores, inventores, instituciones de ciencia y tecnología (TIC), así como actores globales en la impresión 3D.

Palabras clave: Impresión 3D; Mapeo tecnológico; Áreas de especialización; Ciência, Tecnología e Innovación.

1 INTRODUÇÃO

No início do século XXI, com o advento da 4ª revolução industrial, a inovação começa a ser codificada e entendida pelos governos como temática de importância global, a partir da confluência do conhecimento científico para evolução do sistema produtivo, principalmente no que se refere à modernização da técnica das engenharias e das ciências da informação, cada vez mais sofisticadas, que promovem maior interação entre as tecnologias físicas e as tecnologias digitais (SCHWAB, 2017).

Este advento vem promovendo transformação de toda esfera da produção industrial mundial em rede, marcada principalmente pelo conjunto de transformações e aprimoramentos nos processos de manufatura, desenho industrial, produtos, operações e sistemas relacionados (DELOITTE, 2014).

A utilização e o desenvolvimento de elementos tecnológicos, com base na automação e na robótica avançada, permitiram a fusão entre as realidades física e virtual fundamentando a Indústria 4.0. À medida que acontece a aceleração e modernização tecnológica, as melhorias no ambiente produtivo vão sendo aperfeiçoadas gerando condições para o surgimento de outras novas tecnologias derivadas (FIRJAN, 2016).

Neste artigo, para tanto, foi realizado o estudo a respeito de um dos componentes da quarta revolução: a tecnologia de impressão 3D, uma vez que ela se caracteriza por possuir potencial para inovação em diversas áreas, permitindo novas soluções de produção em variadas escalas, com a capacidade de transformar processos produtivos, apresentar mais liberdade em relação à modelagem e ao design de produtos podendo reduzir o custo de gestão (RELVAS, 2018).

A Impressão 3D é conceituada como o conjunto das mais variadas técnicas de transformação da matéria prima em um objeto com três dimensões materializado, camada por camada, e criado a partir de um desenho digital auxiliado por computador. Sua origem está definida como manufatura aditiva e tem o propósito de otimizar processos produtivos pela fabricação de peças de substituição, customização e experimentação, diferentemente da manufatura tradicional, que apra, perfura e corta excessos indesejados de um artefato (ASTM INTERNATIONAL, 2017).

Além da indústria, a impressão 3D, se propagou pela sociedade civil e mercado doméstico sendo instrumento fundamental no surgimento da *cultura maker*, que pôde ser desenvolvida em ambientes de inovação e fabricação digital nas universidades, organizações sociais e arranjos produtivos (ANDERSON, 2012). E, também presente em espaços compartilhados de fabricação digital, estimulando a criatividade, a aprendizagem e o surgimento de ideias e projetos inovadores, criando uma rede social que conecta usuários de forma

colaborativa (TROXLER, 2013). A exemplo, podemos citar o projeto “Fab Lab - investigações sobre fabricação digital” desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology* em 2001 (EYCHENNE; NEVES, 2013).

Deste modo, a impressão 3D é uma prática que, além das fábricas e dos grandes centros globais de P&D,I está presente em outros ambientes estimulando a criatividade, a construção de projetos, a experimentação e o surgimento de redes de fabricação (SEO-ZINDY; HEEKS, 2017) que permitem a vivência de todo processo de inovação. Inclusive em comunidades, grupos, arranjos produtivos locais e agrupamentos sociais caracterizando o movimento de inovação de base (SMITH et al., 2017)

Com base nestas observações e de como as tecnologias podem influenciar a inovação e o desenvolvimento socioeconômico, este trabalho se debruçou na investigação sobre a impressão 3D, que vêm se revelando uma prática multipotencial, com a possibilidade de aplicação em vários setores da sociedade e do mercado, pela padronização de processos e produtos e a redução de custos frente a produção em larga escala (PORTO, 2016).

O mapeamento tecnológico e histórico foi realizado em documentos de patentes e artigos vinculados a banco de dados de natureza técnica e científica, demonstrando as inúmeras possibilidades de inovações: sociais e tecnológicas que a Impressão 3D possui e de como ela pode ser exequível nos contextos macroeconômico (com a transformação da lógica da produção mundial), e microeconômico (com o uso individual e em pequenos empreendimentos) (DAY, 2011).

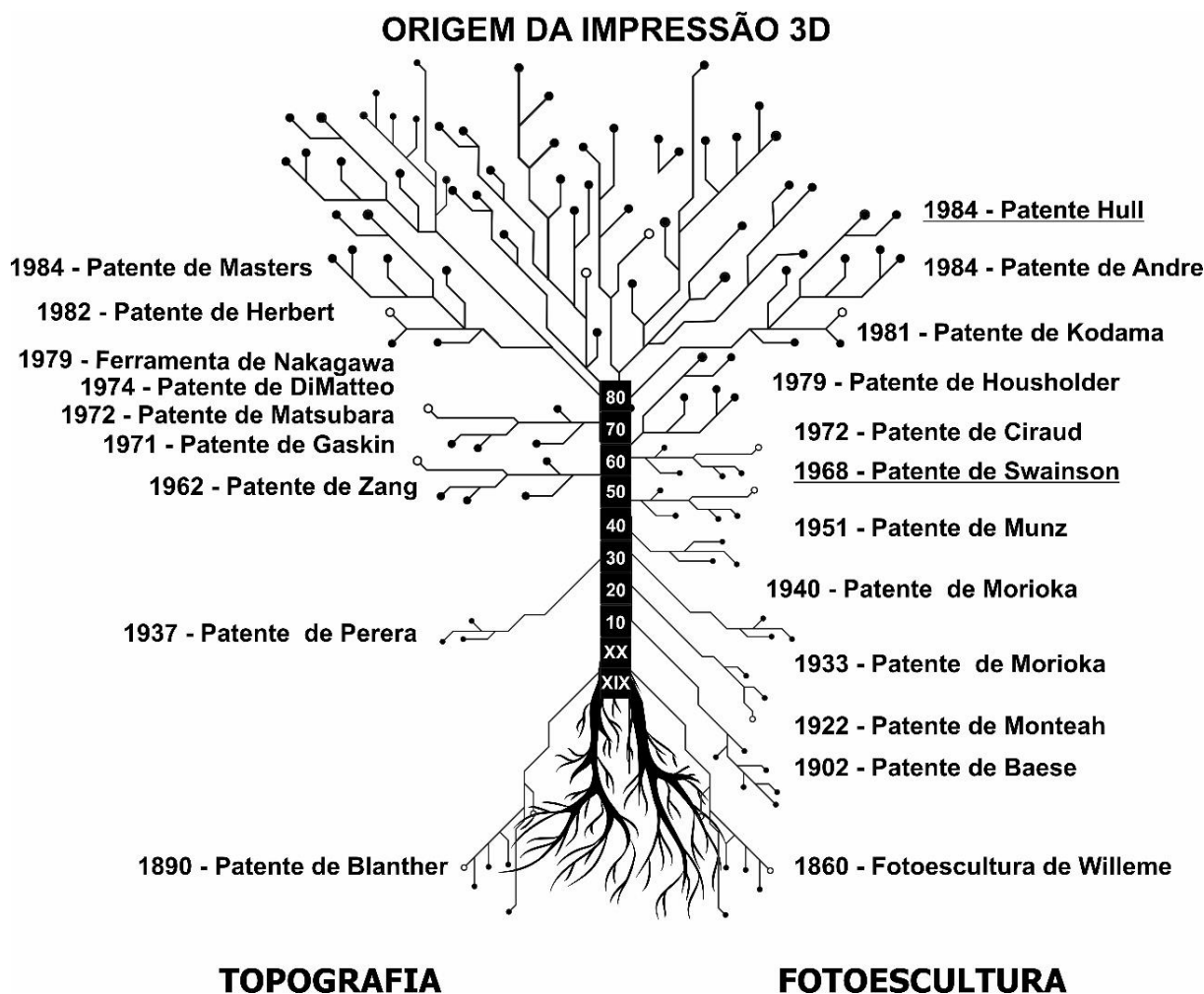
Para disseminar as informações tecnológicas e mercadológicas para fins de embasamento de pesquisas posteriores e de subsidiar a tomada de decisão no contexto de gestão da inteligência competitiva (COELHO, 2003). Assim, foi realizada a categorização cronológica do estudo em décadas.

2 IMPRESSÃO 3D: CONCEITOS E ORIGEM

O conhecimento e a disseminação sobre Impressão 3D têm seus primeiros registros na quarta onda da evolução da indústria. Pois, na busca da efetividade dos processos de produção, componentes cada vez mais avançados tecnologicamente se tornaram pré-requisitos essenciais nos meios fabris, e com este fenômeno a implantação de novas tecnologias, permitindo o desenvolvimento de fábricas inteligentes pela interoperabilidade no processo produtivo (HERMANN, 2015).

Entretanto, a partir da investigação teórica realizada neste trabalho, observa-se que a origem do que conhecemos atualmente como a manufatura aditiva possui cerca de 50 anos, congregados pelos desdobramentos e pela evolução da topografia e dos métodos de foto escultura, que em suas particularidades, têm registros de mais de um século (BOURELL, 2009). Conforme ilustrados na figura a seguir

Figura 1 - Cronologia inicial dos processos de manufatura aditiva



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019. Adaptada da publicação: "A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead", RapidTech 2009.

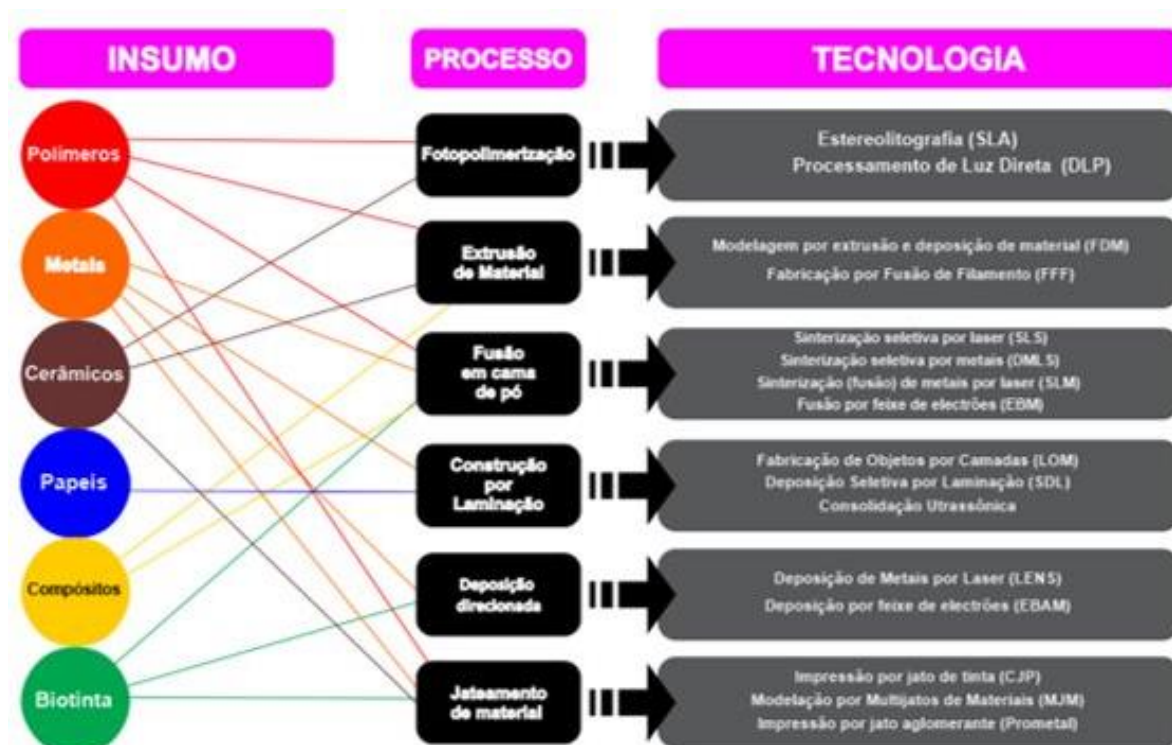
As raízes da Impressão 3D derivam da combinação de conhecimentos de tecnologias da área da topografia (métodos de fabricação de mapas que caracterizavam peculiaridades do relevo) e da criação de foto esculturas (técnicas de reprodução de um modelo em 3D feito a partir do uso das silhuetas obtidas em registros fotográficos). Estes mecanismos precursores foram registrados como documento de patente no século XIX sob título: *Manufacture Of Con Tour Relief-Maps* (US473901) e *Photo-Sculpture* (US43822), com Joseph E. Blanther e François Willème, respectivamente como inventores (BOURELL, 2009).

A representação gráfica da história da manufatura aditiva (Figura 1) representa o percurso cronológico da origem do desenvolvimento da pesquisa, dos registros de ativos de propriedade intelectual (patentes) e de algumas ações de mercado no setor produtivo para inovação.

Um outro ponto importante a ser considerado é que a Impressão 3D abrange variadas técnicas, com utilização de diferentes processos e materiais (Figura 2). O que hoje é convencionado como uma tecnologia, na realidade consiste no conjunto de variadas tecnologias de produção de objetos tridimensionais (MARQUES, 2014) categorizadas na maioria dos casos pela condição do estado físico da matéria utilizada como insumo (PHAM; GAULT, 1998) mesmo com as variantes apresentadas pelas novas descobertas, invenções e inovações

ao longo do tempo. Em linha gerais, a Impressão 3D é basicamente o ato de transformar uma matéria prima de uma condição física em outra, para produção de um objeto, tomando como base um desenho digital que será materializado pela junção de camadas (TAKAGAKI, 2012).

Figura 2 - Diagrama síntese sobre técnicas, processos e materiais para impressão 3d



Fonte: Elaborado pelos autores (2019). Adaptada das publicações de (KRUTH, 1998; GAO, 2015; RELVAS, 2018).

Segundo Roam (2012), a expressão visual de uma realidade pode auxiliar na resolução de alguns problemas facilitando o entendimento de assuntos complexos a fim de melhorar a compreensão, tanto para leigos quanto para especialistas. Sendo assim, apresentamos um diagrama (Figura 2) com tecnologias que podem ser executadas em associação com tipos específicos de processos (deposição direcionada, construção por laminação, jateamento de material, fusão em cama de pó, extrusão de material, fotopolimerização) e materiais (compósitos, metais, polímeros, biotinta, cerâmicos e papeis).

A **fotopolimerização** foi uma das primeiras técnicas utilizadas para impressão de objetos tridimensionais. Tem como tecnologias dominantes a estereolitografia (SLA) e o processamento digital de luz (DLP). Consiste na utilização de insumos líquidos fotossensíveis solidificados ao entrarem em contato com uma fonte de luz. A principal diferença entre SLA e DLP é que a primeira usa feixe de luz, enquanto a outra utiliza uma tela de projeção digital. (RELVAS, 2018; VOLPATO, 2007).

Pela técnica de **extrusão de material** existe a fabricação por fusão de filamento (FFF), ou modelagem de deposição fundida (FDM), que utiliza filamento de material termoplástico sólido que é empurrado através de um bico extrusor aquecido, derretendo o material e esculpindo o objeto. São tecnologias utilizadas para produzir modelos conceituais, protótipos e fabricação de produtos, principalmente customizados. Permite diversificação tanto em cores quanto em tipos de materiais de insumo (RELVAS, 2018; VOLPATO, 2007).

A **fusão em cama de pó** é a técnica que utiliza energia térmica para induzir a aglutinação de uma camada de partículas de matéria prima (pó termoplásticos ou metálicos), formando um objeto o sólido com ligações rígidas. As tecnologias que estão pautadas neste processo são: a sinterização seletiva a laser (SLS) que utiliza como insumo polímero em pó termoplástico associado ao laser de alta potência na construção das camadas de um produto; a sinterização direta de metais por laser (DMLS) é uma derivação da SLS que aquece o metal em pó aquecido até a fundição em nível molecular; a sinterização de metais por laser (SLM) utiliza energia térmica do laser para derreter completamente o pó metálico; e, a tecnologia de fusão por feixe de elétrons (EBM) utilizando lio de elétrons em alto vácuo para fundir o metal e criar um objeto sólido (RELVAS, 2018; VOLPATO, 2007).

Outro processo é o de **construção por laminados** que deposita matéria prima em lâminas aderentes que são comprimidas uma à outra. Neste processo, duas tecnologias utilizam materiais termocolantes (fabricação de objetos laminados - LOM e deposição seletiva por laminação - SDL) e uma utiliza vibrações ultrassônicas (Consolidação Ultrassônica - UAM) para união das lâminas (RELVAS, 2018; VOLPATO, 2007).

As impressões que utilizam o método de **deposição direcionada** são: Modelagem de rede por laser projetado (LENS), que consiste em disparar jatos de material em pó no foco do laser, permitindo que ele se conglutine e cresça gradativamente formando a peça; e a deposição por feixe de elétrons (EBAM), que utiliza a mesma técnica, porém com lio de elétron ao invés do laser (RELVAS, 2018; VOLPATO, 2007).

Outras tecnologias utilizam o **jateamento de material** como *modus faciendi*. Que se dividem em duas categorias: uma que utiliza o *spray* do insumo e a outra que utiliza o *spray* conglutinante do insumo. As que utilizam o *spray* conglutinante são: a impressão por jato aglomerante – Prometal (pó metálico) e a impressão por jato de tinta – CJP (polímero líquido catalisado por luz ultravioleta); a que utiliza *spray* puro do material é a modelagem por Multijatos de Materiais – MJM (jatos de tinta gotas, curada com luz ultravioleta) (RELVAS, 2018; VOLPATO, 2007).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico utilizado neste artigo foi o bibliométrico, pois tem a característica de integrar o tratamento quantitativo dos dados, ao processo de análise da comunicação escrita (FIGUEIREDO, 1977), permitindo a observação da extensão e da distribuição bibliográfica, associada as suas respectivas informações tecnológicas, de estrutura acadêmica e de grupos que produzem e utilizam a literatura científica (PIÑERO, 1972).

Todo o processo de investigação considerou informações de artigos e patentes, uma vez que a expressão da ciência, seja ela por meio da pesquisa básica, aplicada, experimento ou invenção, se materializa em algum registro escrito, na forma de documento (SANTOS, 2003) que pode, inclusive, ter sido produzido pelos mesmos autores e/ou instituições.

Os artigos e as patentes possuem em suas estruturas documentais elementos análogos, como exemplo, autor e instituição de pesquisa, bem como inventor e titular (MOURA, 2009), que podem ser sincronizados para uma análise mais precisa sobre o desenvolvimento científico e tecnológico da inovação.

Segundo Antunes e outros (2018) o mapeamento tecnológico é importante para compreensão mais profunda da evolução de uma tecnologia ao longo dos anos, além da observação de tendências futuras. Por este

motivo, foi realizado a coleta de dados de principais publicações científicas e tecnológicas (artigos e patentes) com o objetivo de analisar o cenário das produções e sua respectiva inovações relacionadas a produtos, processos e serviços na temática da impressão 3D.

A base utilizada para a busca de artigos científicos foi a plataforma internacional de banco de dados *Scopus*, que abrange publicações em revistas científicas nas áreas de ciências, tecnologia, artes e humanidades (SCOPUS, 2019). A busca de invenções foi feita por meio do sistema *Orbit Intelligence* que possui ferramentas de seleção, análise e exportação de informações contidas em documentos de patentes. Os *softwares* utilizados para tratamento e análise dos dados foram: *Microsoft Excel* e *Semantic Analysis Expert (My-SAE, 2020)*, que possibilitou a extração e filtragem de dados das diversas publicações científicas permitindo avaliação e apresentação dos resultados obtidos. A base metodológica desta pesquisa é a associação dos resultados dos artigos, ao mapeamento tecnológico das patentes que permitiram a captação e a apresentação de informações científicas para fundamentar estudos a respeito da Impressão 3D. O percurso metodológico foi operacionalizado por meio de etapas conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Síntese do percurso metodológico



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Com o objetivo de contextualizar e compreender todo processo histórico de criação e desenvolvimento da impressão 3D, o espaço temporal determinado teve seu ponto inicial no ano em que apareceram as primeiras ocorrências de publicações e o final, no ano de 2018 quando esta pesquisa teve sua origem. Os termos utilizados

na busca de artigos e patentes (título, resumo e palavras-chaves) foram: *3d print*, *three dimensional print* e *additive manufacture* associados aos conectivos lógicos AND e OR.

4 APRESENTAÇÃO DE DADOS OBTIDOS

Inicialmente a busca foi realizada com o booleano AND no intuito de direcionar os resultados para observação de documentos estreitamente ligados à temática em estudo, uma vez que possibilitaria a integração dos termos. No entanto, esta apuração apresentou ocorrências datadas a partir do ano de 1993, não revelando publicações científicas que já haviam sido realizadas em anos anteriores (artigos e patentes) sobre produtos e métodos processuais a respeito da utilização da Impressão 3D.

Tendo em vista esta realidade, se fez necessário a complementação da estratégia de busca com a inclusão do booleano OR para permitir a expansão dos resultados da pesquisa, possibilitando a contextualização e a compreensão de todo processo histórico de criação e desenvolvimento tecnológico da Impressão 3D. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 1 descritos a seguir.

Tabela 1 - Escopo da pesquisa para busca de artigos publicados e documentos de patentes

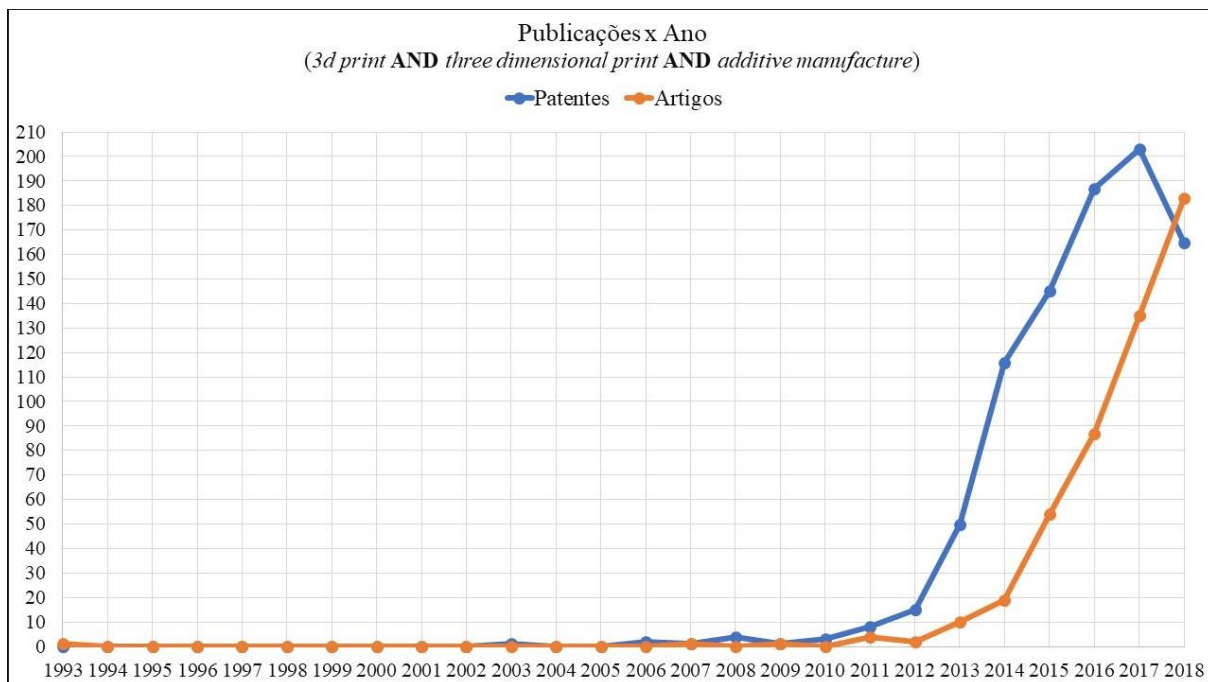
COMBINAÇÃO CONECTORES LÓGICOS		<i>Three dimensional print*</i>	<i>Additive Manufactur*</i>	ARTIGOS PUBLICADOS	PRIMEIRA OCORRÊNCIA DE PUBLICAÇÃO	DEPÓSITOS DE PATENTES	PRIMEIRA OCORRÊNCIA DE PUBLICAÇÃO
(a)	<i>3d print*</i>	AND	AND	497	1993	901	2003
(b)		OR	OR	31.936	1955	66.632	1931
(c)		OR	AND	10.140	1993	4.012	1998
(d)		-	AND	10.081	1993	5.287	1998
(e)		OR	-	27.893	1958	40.308	1939

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Com o objetivo de otimizar a leitura e interpretação destes dados utilizou-se a classificação de letras em ordem alfabética para indicar cada combinação de conectores na busca, bem como uma representação gráfica individualizada sobre a evolução temporal da impressão 3D. Assim, foi feita a demarcação de dois eixos (x e y) que se referem à quantidade de publicações e ao ano de publicação dos artigos e patentes.

Conforme Figura 4 a combinação acima (a) se refere a utilização do booleano AND para conexão das palavras-chaves: *3d print*, *three dimensional print* e *additive manufacture*. Isto significa que os resultados apresentam documentos que possuem ocorrência simultânea dos três termos em cada um dos documentos encontrados. No total 497 artigos com aparições a partir do ano de 1993 e 901 depósitos de patentes publicadas a partir de 2003, ou seja, uma década após o início de publicações de artigos.

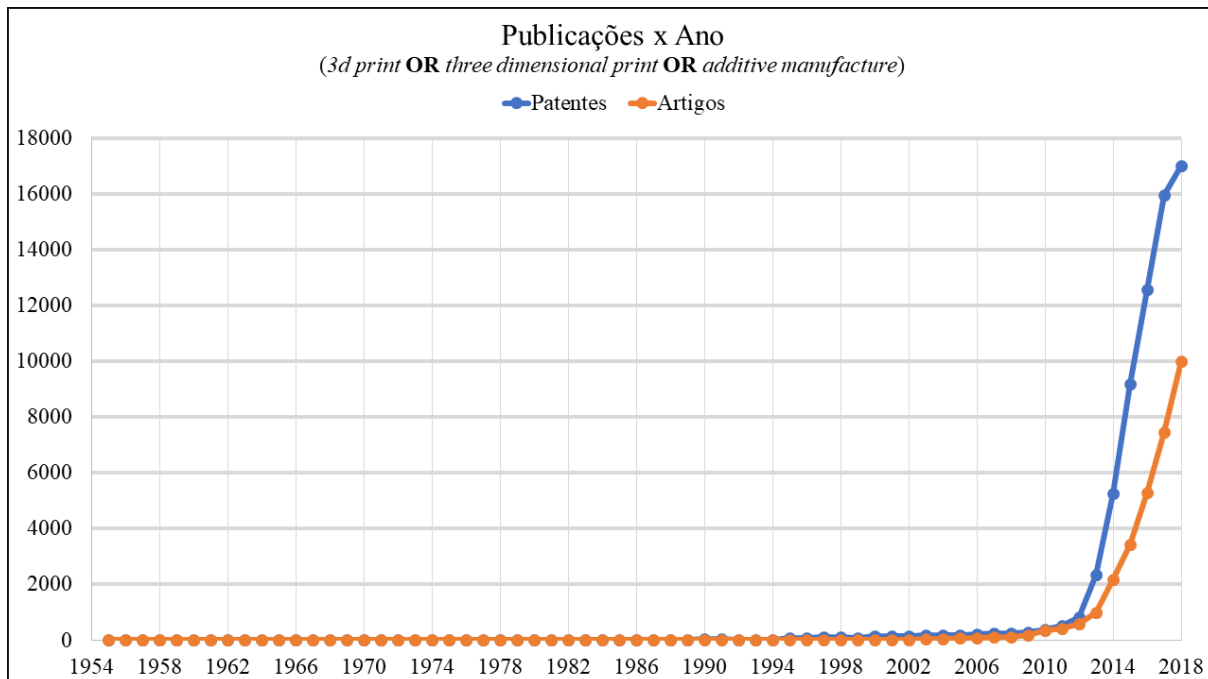
Figura 4 - Combinação de conectores (a): Artigos e Patentes sobre *3d print*, *three dimensional print* e *additive manufacture* ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel.

A combinação (b), descrita na Figura 5 faz uso do conectivo OR para associação das palavras-chaves na busca, ou seja, os resultados revelam registros cuja publicação possui pelo menos um dos três termos, revelando 31.936 artigos e 66.632 depósitos de patentes. Esta estratégia apresentou resultados que remontam a década de 30 para patentes e 50 para artigos, que permitiram a elucidação sobre o surgimento, o desenvolvimento e a evolução técnico-científica da impressão 3D, já mencionados na fundamentação teórica e posteriormente detalhado na seção de análise de resultados.

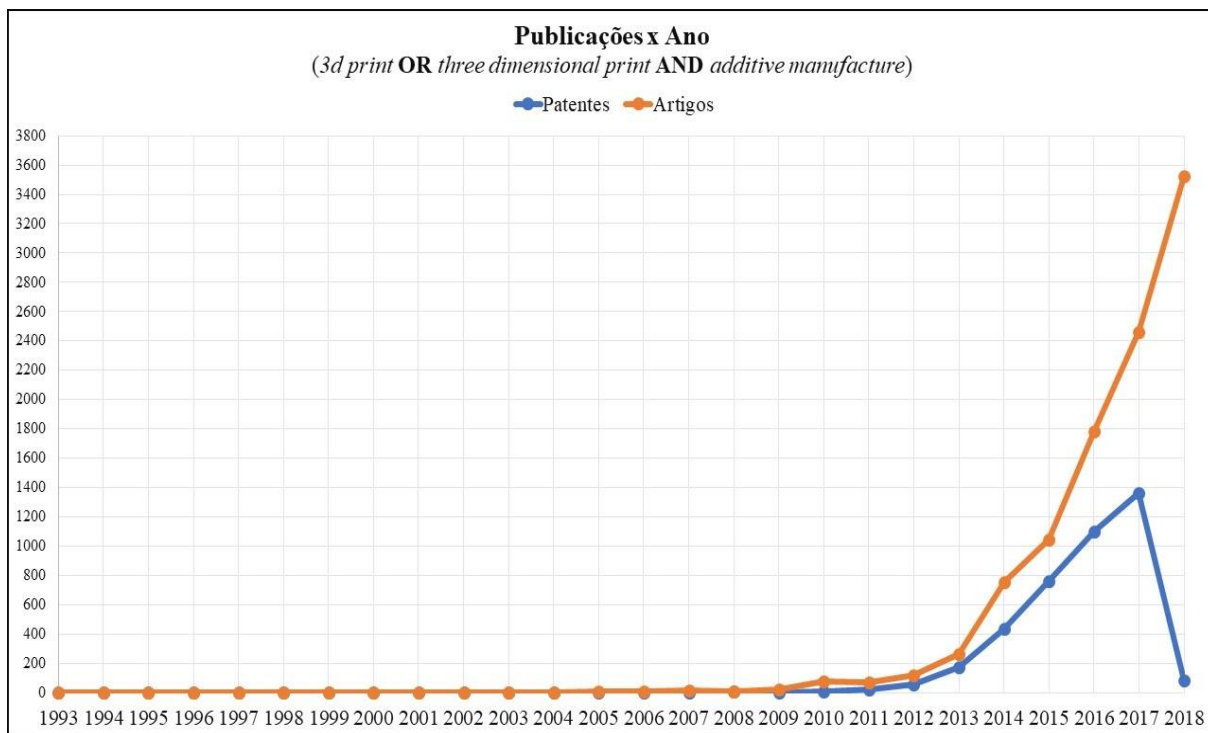
Figura 5 - Combinação de conectores (b): Artigos e Patentes sobre 3d print, three dimensional print e additive manufacture ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel.

Na junção dos termos (c) apresentou documentos cujos conteúdos tinham ou o termo Impressão 3D ou o termo impressão tridimensional associado à ocorrência obrigatória do vocábulo: manufatura aditiva (vide Figura 6). Esta alternativa resultou na quantidade de 10.140 artigos também datados de 1993 e 5.362 depósitos de patentes com início em 1998.

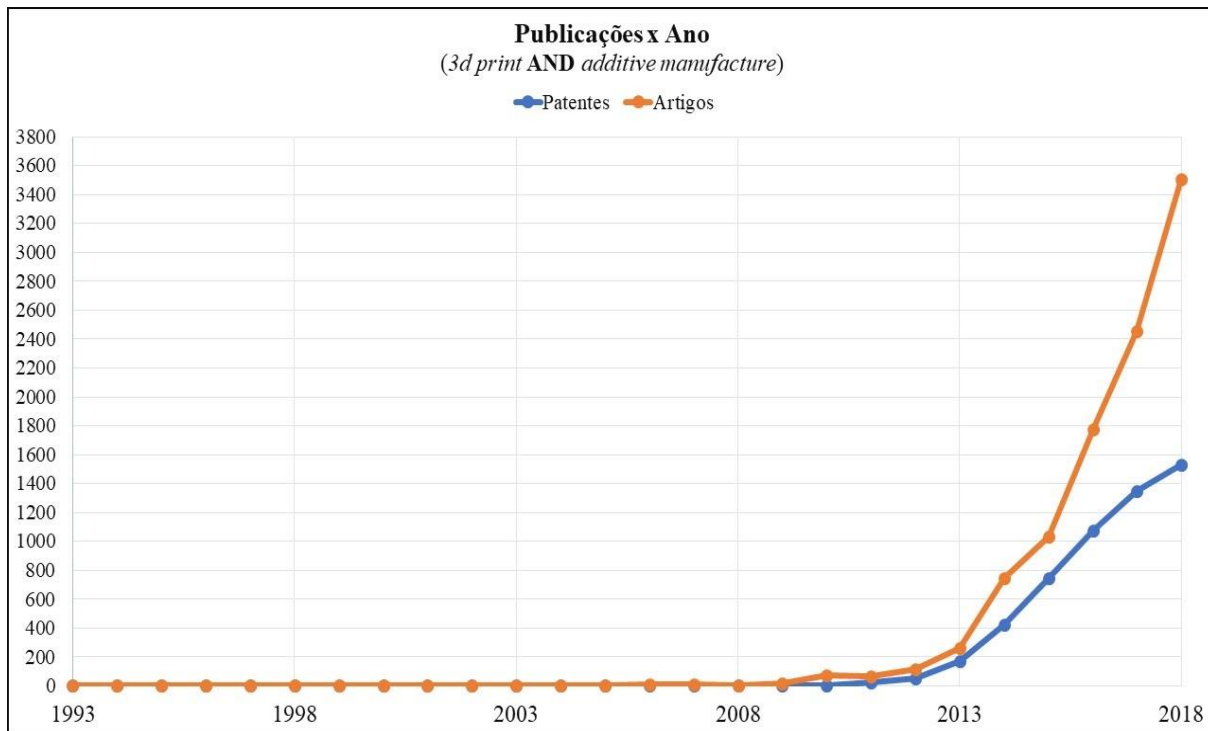
Figura 6 - Combinação de conectores (c): Artigos e Patentes sobre 3d print, three dimensional print e additive manufacture ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel.

A associação (d) determina que os resultados mostram somente publicações que contenham coincidentemente: Impressão 3D e manufatura aditiva (vide Figura 7). Isto corresponde a 10.081 artigos e 5.287 pedidos de patentes, também datados de 1993 e 1998 respectivamente.

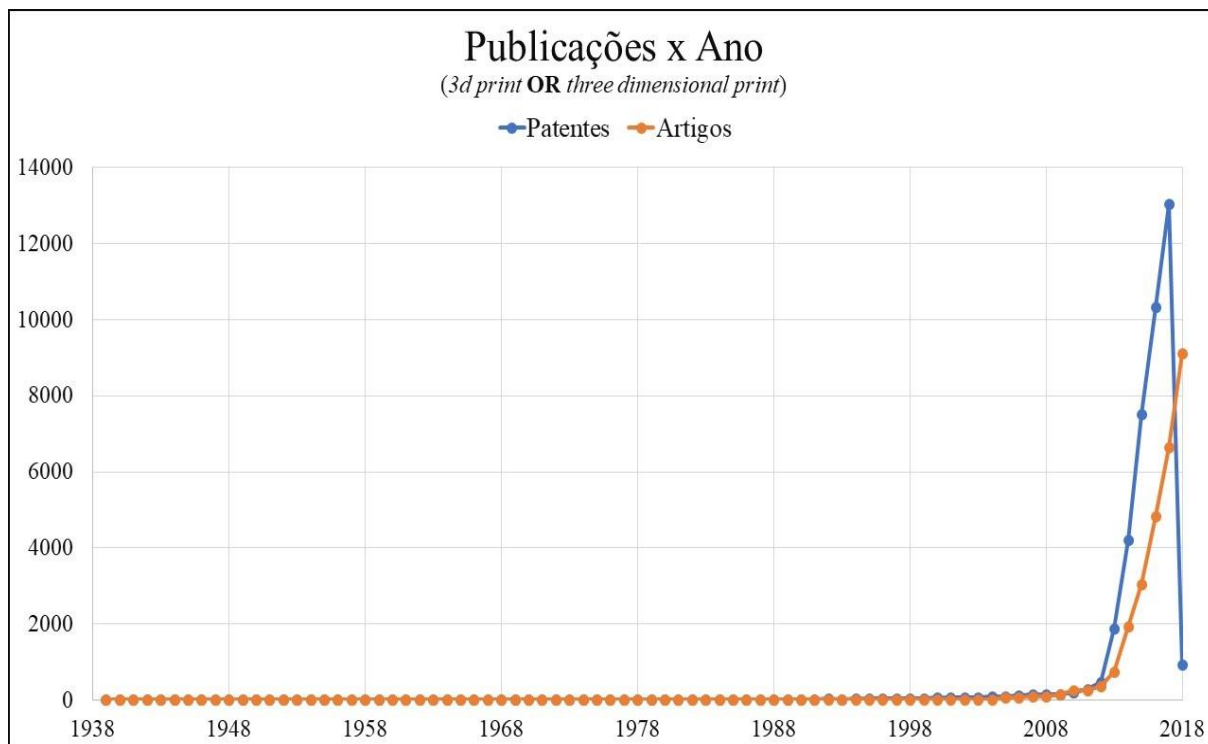
Figura 7 - Combinação de conectores (d): Artigos e Patentes sobre 3d print, three dimensional print e additive manufacture ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel.

A linha (e), por sua vez, apurou documentos que continham uma das expressões: ou *3d print* ou *three dimensional print* (vide Figura 8). O resultado desta combinação trouxe a quantidade de 18.758 artigos apontados a partir de 1958 e 52.882 solicitações de patente datados de 1939.

Figura 8 - Combinação de conectores (e): Artigos e Patentes sobre 3d print, three dimensional print e additive manufacture ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel.

Estas estratégias de buscas tornaram possível a construção de gráficos que representam desenvolvimento tecnológico da Impressão 3D por sua movimentação com trajetos semelhantes que se mantiveram por décadas um percurso quase retilíneo, apresentando um crescimento constante até o início da segunda década dos anos dois mil quando inicia um processo ascendente com a cive mais intenso até o final do período em estudo. Além destas semelhanças foram identificadas diferenças principalmente nos pontos iniciais e finais nos gráficos.

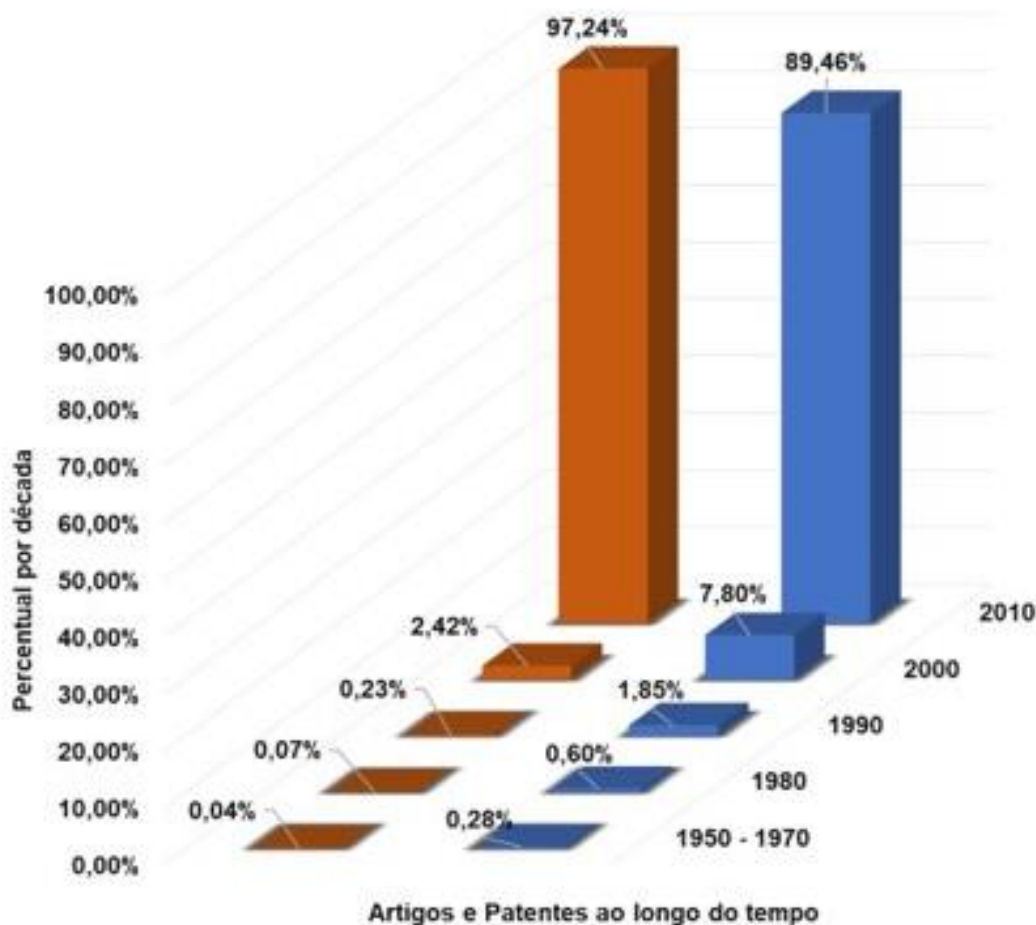
Nos pontos iniciais dos gráficos observa-se que cada estratégia revela documentos científicos que possuem sua origem em décadas distintas para as buscas que se utilizou o booleano AND, os resultados mostraram que o início das publicações foram na década de 90, já para as que tiveram aplicação somente com o conectivo OR os artigos e patentes remontam décadas anteriores, entre os anos 30 e 50, o que permitiu elucidar a respeito do surgimento, do desenvolvimento e da evolução técnico-científica, bem como das inovações relacionadas à tecnologia de impressão 3D. No que se refere aos pontos finais as diferenças estão principalmente entre os anos 2017 e 2018.

A análise destes resultados foi feita a partir da associação dos mesmos, pela integração e cruzamento das informações de artigos e patentes para que fosse possível encontrar indícios que sinalizassem a origem e a utilização da Impressão 3D no âmbito da ciência e da tecnologia já que os resultados com o conectivo AND omitiram publicações historicamente relevantes. Fazendo-se necessário uma análise mais minuciosa e de contextualização em longo, médio e curto prazo.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nestas informações se fez necessário a realização de um recorte por décadas (Figura 9) para que fosse possível a identificação das ocorrências das pesquisas sobre Impressão 3D como conhecemos hoje, além de permitir a construção de um mapeamento tecnológico sobre sua evolução histórica e seus impactos no setor produtivo.

Figura 9 – Categorização das publicações sobre Impressão 3D por décadas



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel.

A categorização representada no gráfico acima considerou linha do tempo no eixo X do somatório de anos, segmentado por décadas, em que ocorreram publicações relacionadas à impressão 3D. No eixo Y foi inserida a quantidade de publicações de artigos e patentes de cada década em percentual. Esta representação revela cerca de 90% do montante total de documentos encontrados foram publicados a partir de 2010. Os outros 10% dizem respeito aos anos anteriores.

Com recorte, além de uma visualização mais clara a respeito do volume de publicações foi possível a investigação com base em critérios como: autores com mais incidências de publicações, relações entre pesquisas, criações e invenções a partir das informações tecnológicas obtidas em documentos de patentes nesta temática e Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) de vínculo dos mesmos, bem como aplicações no setor produtivo.

Com base na leitura dos artigos apresentados nas buscas utilizando o OR, por exemplo, foi possível observar que entre as décadas de 40 e 80 as unidades anuais de publicações descrevem, em sua maioria, procedimentos das áreas de química, engenharia e eletrônica relacionadas principalmente a criação de processos modulares e personalizados de manufatura, aditivos químicos, óleos lubrificantes, construção de circuitos impressos, além de métodos de impressão de fotografia com visualização em terceira dimensão, dentre outros assuntos aderentes.

Em meados dos anos 60 e início dos 70 foi possível identificar alguns documentos que retratam alguns estudos na perspectiva da terceira dimensão. Novos aparelhos e técnicas incipientes para construção de circuitos, realização de representação fotográfica e materialização de objetos foram encontrados nos depósitos de patentes¹, já nos artigos a ocorrência da primeira publicação relacionada à tecnologia de Impressão 3D foi somente em 1972 pelos autores russos Lidov e Stochik intitulado: “*3d printing of the Bolshoi Medical Encyclopedia*”.

Na década de 80 os resultados dos artigos científicos aparecem somente no ano de 1989, com a publicação intitulada: “*Stereolithography*”, cujo inventor Raymond S. Freed descreveu um processo de impressão tridimensional de objetos sólidos a partir da utilização de um feixe de laser em movimento comandado por computador permitindo o esculpido em camadas de objetos a partir de um molde digital.

Neste mesmo período, além do artigo descrevendo o processo de estereolitografia, documentos de patentes relacionadas à tecnologia e ao método foram encontrados em bases internacionais indicando-o como inventor, como é o caso da de nº EP0362982 e título “*Stereolithographic curl reduction*”, de 1989 que traz a apresentação de um método de aperfeiçoamento no sistema de estereolitografia envolvendo a aplicação de técnicas de manipulação de dados melhorada e litográficas para fabrico de objetos tridimensionais. (HULL; FREED, 1997)

No entanto a ocorrência de uma única publicação na base de artigos configurou apenas um indício da realidade de publicações do final da década de 80, pois com o refino da busca para o termo “*Stereolithography*” esta evidência regressou para 1988, com o artigo: “*StereoLithography: Plastic prototypes from CAD data without tooling*” do autor Hull, Charles e também inventor da primeira patente sobre impressora 3d em meados da década, de título: *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography* (US4575330), depositada em 1984 e concedida em 1986. A invenção refere-se a um aparelho para produção de objetos tridimensionais por meio do processo fotoquímico de estereolitografia (HULL, 1986).

Os resultados da base de dados de patentes mostraram que as tecnologias dominantes da época correspondiam à produção de materiais da indústria da base como ferramentas, maquinário, e insumos químicos, bem como desenvolvimento de tecnologia de imagem 3D. Muito embora algumas informações² relevantes

¹ **US3368471** - *Method and apparatus for making three dimensional contact prints* (1964) - Equipamento e método de feitura de impressões de contato tridimensionais a partir de uma fonte de luz e uma folha fotossensível pré-formada. **US3384957** - *Fabrication of three-dimensional printed circuitry* (1965) - Método para fabricação de circuitos impressos tridimensionais com abas elevadas. **US3294532** - *Hot melt composition for three dimensional printing* (1966) - Composição de fusão a quente para impressão tridimensional. **US3462226** - *Preregistration and layout of three-dimensional prints* (1966) - Método para assegurar registro de imagens uniformes em relevo. **JP55025307** - *Manufacture of three-dimensional decorative sheet with reinforced fiber* (1978) - Fabricação de chapa tridimensional com fibra.

² **US3368471** - *Method and apparatus for making three dimensional contact prints* (1964) - Equipamento e método de feitura de impressões de contato tridimensionais a partir de uma fonte de luz e uma folha fotossensível pré-formada. **US3384957** - *Fabrication of three-dimensional printed circuitry* (1965) - Método para fabricação de circuitos impressos tridimensionais com abas elevadas. **US3294532** - *Hot melt composition for three dimensional printing* (1966) - Composição de fusão a quente para impressão tridimensional. **US3462226** - *Preregistration and layout of three-dimensional prints* (1966) - Método para assegurar registro de imagens uniformes em relevo. **JP55025307** - *Manufacture of three-dimensional decorative sheet with reinforced fiber* (1978) - Fabricação de chapa tridimensional com fibra.

ocorreram a partir do meado da década de 80, o que serviu de subsídio para o cruzamento dos dados e integração das informações a respeito da ciência e da tecnologia desenvolvida na época, quando os desdobramentos dos inventos da foto escultura, associada aos de topografia desencadearam técnicas de impressão de objetos em terceira dimensão (RELVAS, 2018).

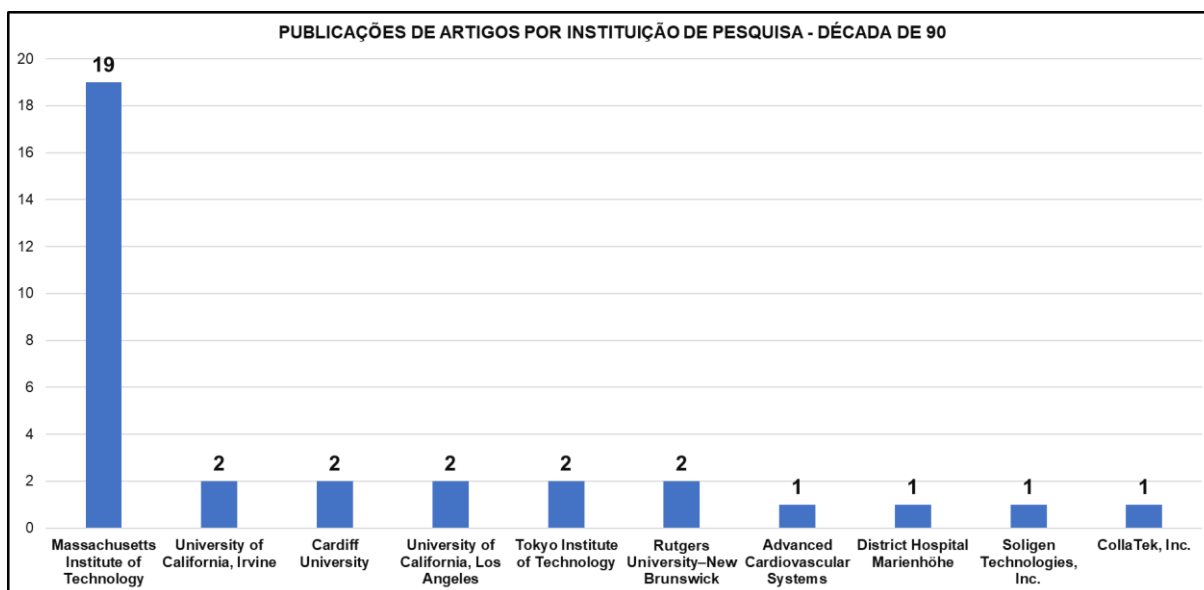
Desde então, na década de 90, identifica-se a incidência de publicações referentes ao *modus operandi* da tecnologia de impressão de objetos em terceira dimensão e o surgimento de novas possibilidades de métodos, equipamentos, suprimentos e insumos nas áreas de engenharia e ciência de materiais, que fizeram com que de Impressão 3D integrasse o leque de ferramentas de prototipagem rápida, como também o surgimento de empresas, marcas, sistemas e produtos relacionados à ela (KRUTH, 1998).

Descrições de mecanismos sobre a deposição de material em pó para impressão a jato de tinta, impressões com metais, cerâmicas, resinas e outros começam a ser destaques nas publicações do início da década, o que indica a inserção de uma nova prática para otimizar processos produtivos com a possibilidade construção rápida de protótipos e ferramentas de produção. Algumas técnicas apresentadas nos periódicos descreviam à estereolitografia, sinterização seletiva a laser, fabricação de objetos laminados e modelagem de deposição por fusão (SCOPUS, 2019).

Em meados da década, mais precisamente em 1994, a busca do *scopus* mostrou uma publicação intitulada: “*Speedy 3-D laser modeling*” do autor Herbert Kaplan que descreve modelagem em terceira dimensão como uma alternativa para otimização de processos industriais de prototipagem com desenho digital tridimensional. Já em 1995 Emanuel Sachs e Michel Cima descrevem no artigo “*Fabrication and microstructural control of advanced ceramic components by three dimensional printing.*” um processo de fabricação microestrutural com material na forma de pó transformado com possibilidade de para determinação de resistência mecânica para impressão 3d. As publicações triplicam dos anos de 1994 para 1995 com artigos que apresentam desde os estudos sobre as vantagens do desenvolvimento rápido de protótipos com Impressão 3D até novos processos a base de matéria prima em forma de pó ou de modo simultâneo.

As publicações evidenciadas nos resultados da busca apresentam as Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) com destaque na investigação e no desenvolvimento da pesquisa científica relacionada a processos de impressão tridimensional e depósitos de pedidos de patentes relacionados às pesquisas desenvolvidas. O que se pode observar nas análises a seguir.

Figura 10 - Quantidade de publicações de artigos por ICT na década de 90

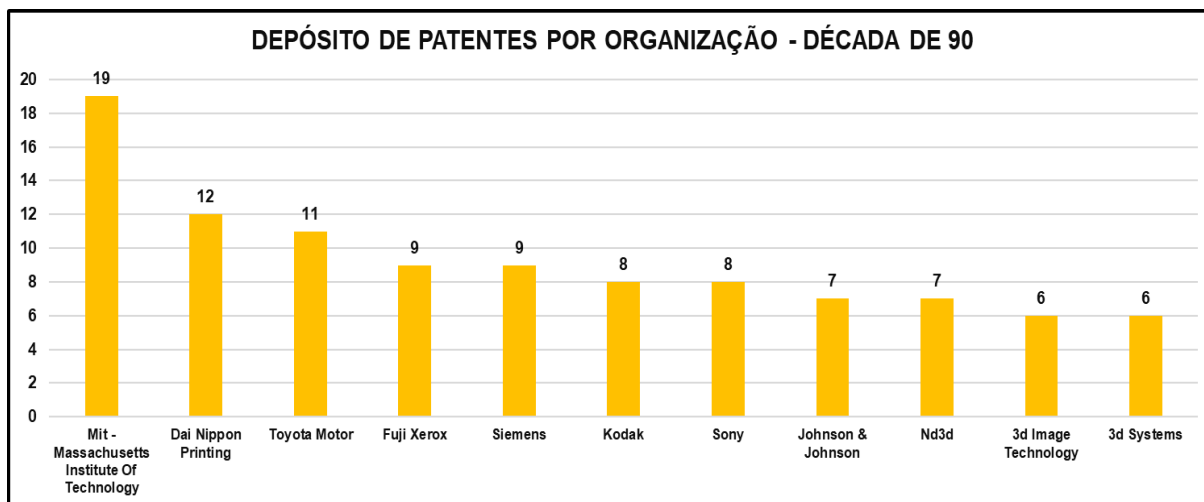


Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel.

O gráfico da Figura 10 representa as primeiras dez ICTs com mais publicações de artigos na década de 90. É possível verificar que *Massachusetts Institute of Technology* se destaca por estar muito à frente na quantidade de publicações frente as outras nove organizações. O instituto figura com dezenove títulos ao passo que as demais atingem a marca de dois ou um. Duas publicações para *University of California*, *Cardiff University*, *University of California*, *Tokyo Institute of Technology* e *Rutgers University*. Uma publicação para *Advanced Cardiovascular Systems*, *District Hospital Marienhöhe*, *Soligen Technologies* e *CollaTek*.

No que diz respeito à quantidade de pedidos de patentes, a Figura 11 exibe os maiores depositantes de patentes da década sobre o tema de estudo. Entre eles figuram organizações que trabalhavam com manufatura aditiva, mas ainda muitos desenvolvedores de tecnologia de imagens digitais e outras técnicas de impressão.

Figura 11 - Quantidade de patentes depositadas por organização na década de 90

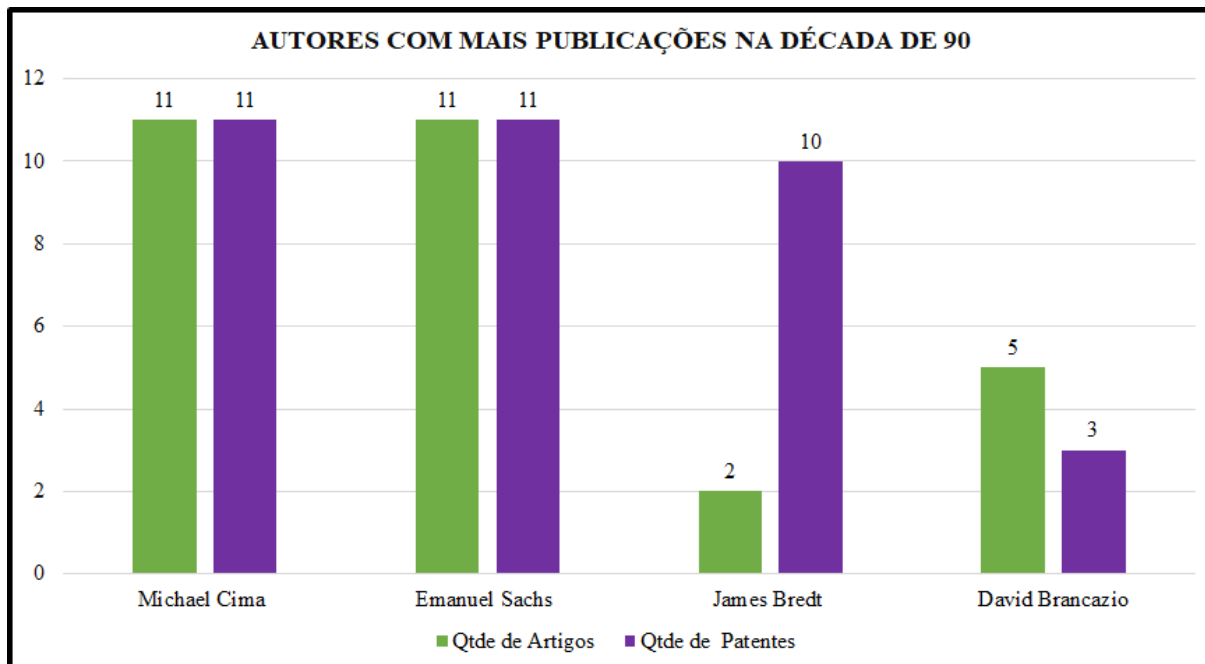


Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Orbit Intelligence tratados no software M. Excel.

Desta maneira, as publicações científicas tanto de artigos, quanto de patentes, a década de 90 tem o *Massachusetts Institute of Technology - MIT* como a instituição com mais publicações em ambos os casos. E mesmo com a maior parte das publicações serem de instituições localizadas no continente norte americano, mais precisamente nos Estados Unidos, países da Europa (Inglaterra, Reino Unido, Bélgica) e da Ásia (Japão e Coreia do Sul) também figuram como precursores de tecnologias de manufatura aditiva (SCOPUS, 2019).

Os dados coletados nas informações tecnológicas pela observação da interação de artigos e patentes dá indícios de quais instituições estão aproveitando o resultado de pesquisas para gerar patentes e outros tipos de proteção de ativos de propriedade intelectual (FUJINO, 2006). É o que podemos observar no gráfico a seguir Figura 12 em que as publicações de documentos científicos do decênio revelam que o grupo de pesquisadores do MIT, também são os inventores com maior número de depósitos de patentes. São eles: Emanuel Sachs, Michel Cima, David Brancazio e James Bredt.

Figura 12 – Autores/Inventores com mais publicações de documentos científicos sobre manufatura aditiva e Impressão 3D na década de 90



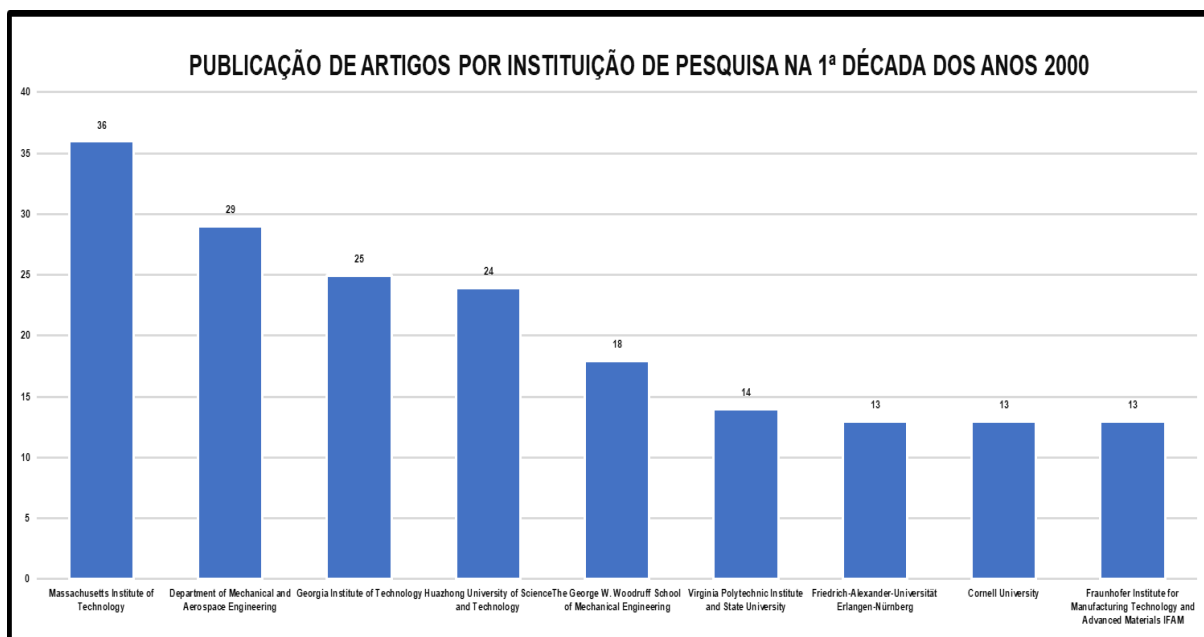
Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e Orbit Intelligence tratados no software M. Excel.

As descrições da década vão desde a criação digital de protótipos por meio de desenhos feitos em computador até os tipos e modalidades de impressões. Em linhas gerais, a presença destes pesquisadores representa a atuação do MIT conduzindo a pesquisa com a finalidade de inovar.

O século XXI é tido como início da 4ª revolução industrial. É o período em que se evidencia a sofisticação das técnicas de engenharias associadas à das ciências da informação pela interação cada vez maior entre as tecnologias físicas e as tecnologias digitais (SCHWAB, 2017). É o período conhecido como início da era de materialização digital e toda sua sistematização dentro do processo produtivo (MEDEIROS, 2016). Os produtos e métodos em torno da tecnologia de Impressão 3D permitem estabelecer novas relações do usuário com o seu produto. (LÉVY, 1998)

No âmbito das publicações científicas referentes à primeira década deste século foi possível observar a continuidade do crescimento da divulgação de artigos e patentes. O que pode ser constatado nos gráficos gerados com os dados decorrentes da Tabela 1 associada ao recorte apresentado nos gráficos a seguir.

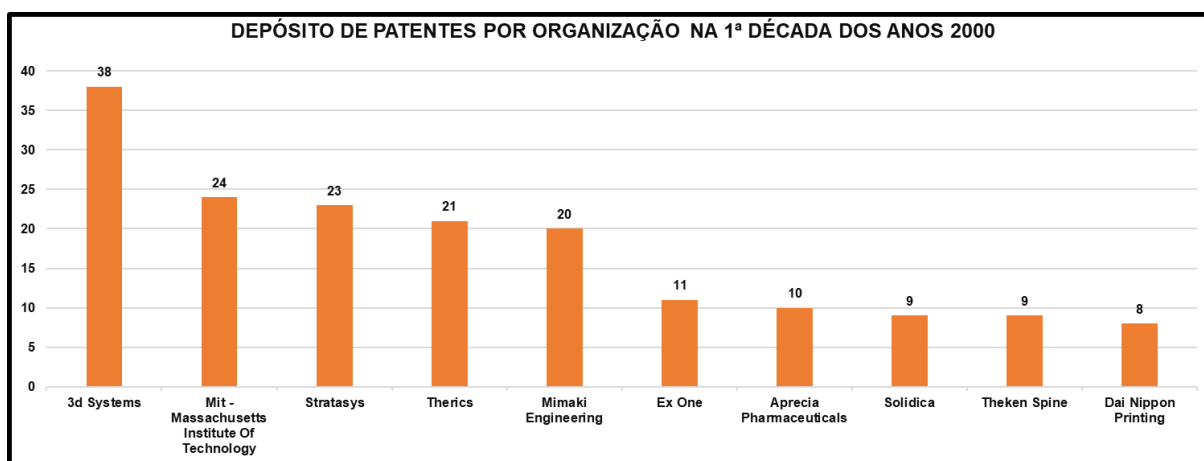
Figura 13 - Quantidade de publicações de artigos por ICT na 1ª década dos anos 2000



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software Microsoft Excel.

O gráfico da Figura 14 apresenta as Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) com mais artigos publicados na primeira década do ano dois mil. O *Massachusetts Institute of Technology* continua liderando o ranking dos artigos, mas diferentemente da década anterior vem perdendo posições quando verifica-se os resultados de patentes.

Figura 14 - Quantidade de patentes depositadas por organização na 1ª década dos anos 2000



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software Microsoft Excel.

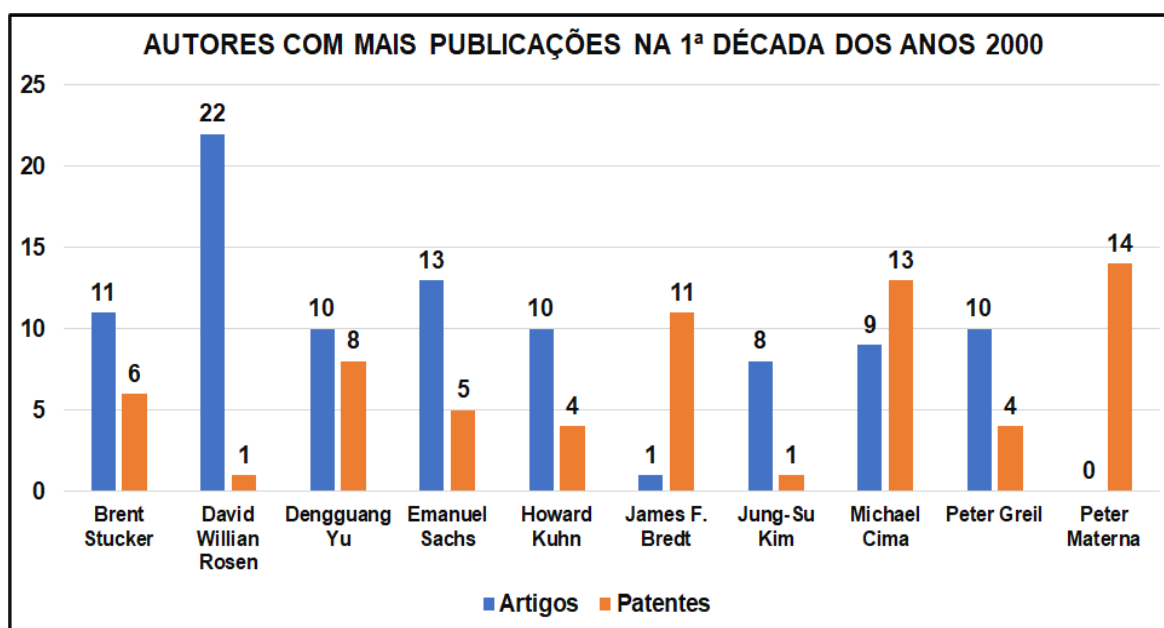
A representação gráfica da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os principais depositantes de patentes no período de 2000 a 2009. A *3D Systems* ocupa a primeira colocação em depósitos de patentes com 38 títulos em segundo lugar o *Massachusetts Institute of Technology* com 24, em seguida a *Stratasy* com 23, a *Therics* com 21, a *ExOne* com 11, a *Aprecia* com 10, a *Solidica* e *Theken Spine* com 9.

A 3D Systems é considerada a primeira empresa de Impressão 3D do mundo, utilizando a estereolitografia é oriunda da pesquisa científica do *Massachusetts Institute of Technology*. A *Stratasys* foi a precursora da utilização da modelagem por fusão e deposição. A *Therics* com Impressão 3D por meio de partículas de polímero aquecidas sobre fluido e com tecnologia básica para a Impressão 3D de líquidos, licenciada do MIT, para produção de produtos principalmente de aplicações médicas. A *ExOne* com desenvolvimento de tecnologia de impressão de metais. *Apexia Pharmaceuticals* com desenvolvimento de manufatura farmacêutica. A *Solidica* com princípio de prototipagem rápida com deposição sequencial de material para construção de objeto consolidado sem derretimento do material a granel. A *Theken Spine* que foi um desdobramento da *Therics*.

Nesta década, observa-se o surgimento e aprimoramento das técnicas de impressão, os primeiros negócios especializados em Impressão 3D com fabricação e comercialização de máquinas e equipamentos, inclusive domésticas (MARTINS, 2017). Uma época que a tecnologia apresentou muitas publicações relacionada a sua existência e projeção para o futuro, nos primeiros dez anos dos anos 2000. Entretanto, nos resultados de busca de periódicos encontrou-se somente duas publicações: um artigo no ano de 2007 e outro em 2009 que investigaram o uso da impressão tridimensional para fabricar materiais celulares metálicos a partir da impressão seletiva de ligante em uma base de pó cerâmico de óxido de metal. (WILLIAMS; ROSEN, 2007).

Um dos autores do artigo em menção, David William Rosen, compõe a equipe de inventores de um método de criação de dispositivos utilizando estereolitografia cuja patente (WO2009123883) depositada na mesma época propunha um método de fabricação um dispositivo oftálmico que introduz um material fotocurável em um molde e também cria um modelo matemático digital em terceira dimensão definido de acordo com as necessidades corretivas do olho projetadas por padrões programados de luz ultravioleta de acordo com o molde. (ROSEN, 2008)

Figura 15 - Autores/Inventores com mais publicações de documentos científicos sobre manufatura aditiva e Impressão 3D na 1ª década dos anos 2000



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software Microsoft Excel.

No que se refere à sincronização de autores que são inventores, diferentemente da década de 90, os primeiros dez anos dos anos 2000 verifica-se uma expansão e diversificação de pesquisadores engajados na temática da impressão 3D. O gráfico da Figura 15 dá destaque para David Rosen, com 22 publicações de artigos, porém 1 depósito de patente e o Peter Materna com 14 patentes e nenhum artigo. O primeiro com vasta produção bibliográfica, porém produção tecnológica incipiente e o segundo com habilidade produtiva de engenharia, mercado e propriedade intelectual, mas sem produção acadêmica.

Alguns desse autores/inventores possuem coproduções com outros que têm ocorrência de destaque na década, como é o caso de Emanuel Sachs, Michel Cima e James Brecht do *Massachusetts Institute of Technology* e o Brent Stucker, que além das pesquisas com materiais metálicos possui coautoria com David Rosen em algumas publicações. O Jung-Su Kim vinculado ao *Korea Institute of Machinery & Materials* e pesquisa na área de resinas e polímeros. Peter Greil, da *Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg*, com trabalhos de vitrocerâmicas; Dengguang Yu do *Institute of Biological Sciences and Biotechnology, Donghua University, Shanghai*, na área de fármacos; Howard Kuhn, da *Exone Company*, com pesquisas na área de materiais cerâmicos (SCOPUS, 2019).

No início de 2000 com o crescimento das pesquisas, do desenvolvimento e do seu uso pela indústria, o termo Impressão 3D se torna sinônimo de manufatura aditiva e engloba as tecnologias pertinentes. Anos depois, já no final da década em 2010, a Sociedade Americana para Ensaios e Materiais, redefiniu oficialmente por se tratar de um termo mais abrangente (MARQUES, 2014).

Este fato responde ao questionamento do início desta pesquisa, quando, a busca com booleano AND na base de dados não extraia resultados publicados antes da década de 90 e algumas poucas unidades partir de 1993. E ainda assim, com todo crescimento de publicações sobre o tema até 2009 o conector AND não expressou resultados condizentes com a realidade histórica como a busca os feitos com o conector OR.

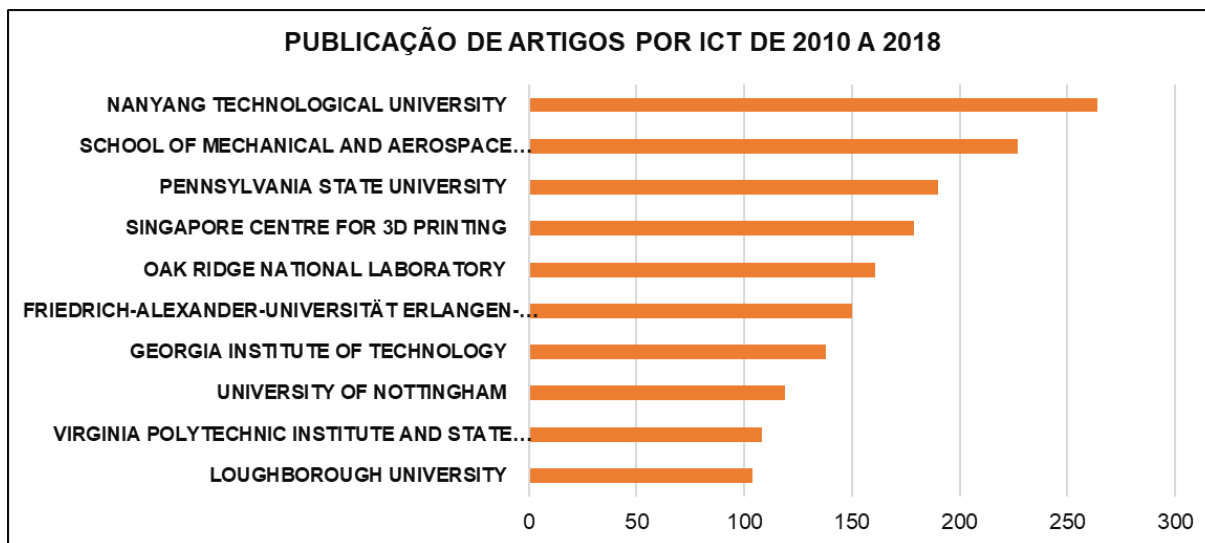
Este fato foi observado no decorrer do mapeamento, quando publicações sobre algumas informações tecnológicas só se revelaram com a busca das terminologias específicas relacionada aos processos, como por exemplo: Estereolitografia (SLA); Processamento de Luz Direta (DLP); Sinterização Seletiva a Laser (SLS); Sinterização Direta a Laser de Metal (MDLS) e outros já apresentados na Figura 2 - Diagrama síntese sobre técnicas, processos e materiais para impressão 3d.

Os dez primeiros anos dos anos 2000 demonstrou o amadurecimento da indústria pela apropriação dos conhecimentos tecnológicos da indústria 4.0 pela concretização e otimização de processos produtivos, da prototipagem rápida, da dispersão da produção científica e do consumo das tecnologias da Impressão 3D para além dos grandes centros econômicos mundiais. Ademais temos o fim das primeiras patentes de máquinas e processos que além do acirramento da concorrência mundial, permitiu a maior interação entre usuários e a tecnologia sempre ascendente.

Com o início da **segunda década dos anos dois mil** observa-se um crescimento exponencial das publicações, já apresentado na Figura 16 e nos gráficos que a sucede, que refletem além do salto tecnológico pelo desenvolvimento de novos materiais e da eletrônica. Nas publicações de 2010 a 2018 evidencia-se a ocorrência de processo de evolução e aprimoramento desde as descrições sobre prototipagem até o aperfeiçoamento da qualidade dos produtos de objetos tridimensionais (VOLPATO, 2007).

Um dos marcos do início da década foi a oficialização do termo impressão 3D, pela Sociedade Americana para Ensaio e Materiais, pois as técnicas ganharam um único corpo (metaforicamente) lhes permitiram ter identidade. Além disso, diversificou-se nos mais variados setores, não só na indústria, mas também nas organizações de menor porte, escolas e residências pelo uso e comercialização de impressoras pessoais (WOHLERS, 2012). Autores e inventores de vanguarda compunha o nicho dos *players* mundiais. (EZEIRUAKU, 2015).

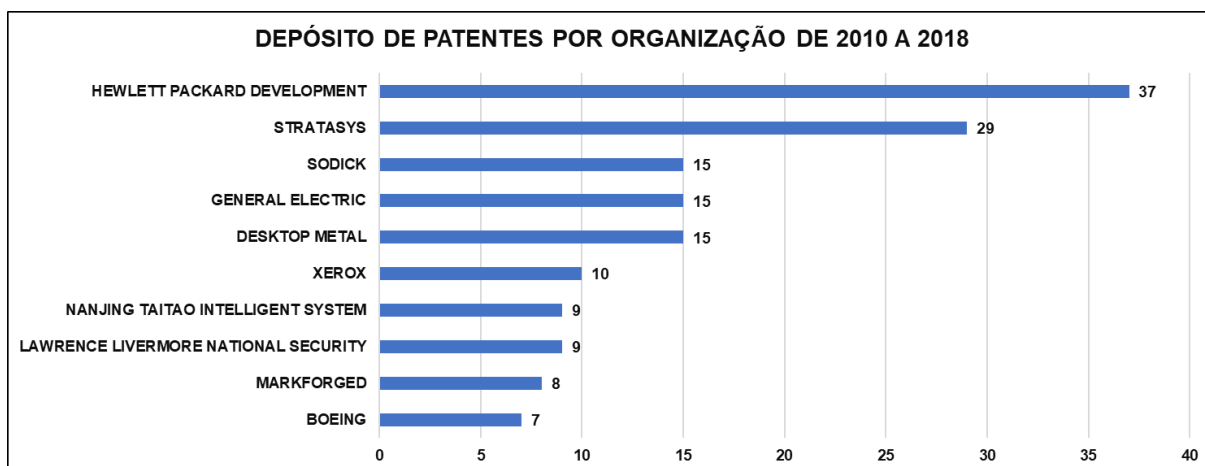
Figura 16- Quantidade de publicações de artigos por ICT de 2010 a 2018



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel

O gráfico da Figura 17 apresenta as Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) com mais documentos publicados na segunda década do ano dois mil. Diferentemente das duas décadas anteriores o MIT não figura mais como líder no ranking de artigos. A primeira posição é da *Nanyang Technological University*, em Singapura com cerca de 264 publicações sobre impressão 3D. Neste cenário verifica-se a expansão de ICTs asiáticas em desenvolvimento científico P&D como é o caso da *School of Mechanical and Aerospace Engineering* e *Singapore Centre for 3D Printing*. Os demais centros científicos são ICTs dos Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha.

Figura 17- Quantidade de depósitos de patente por organização de 2010 a 2018

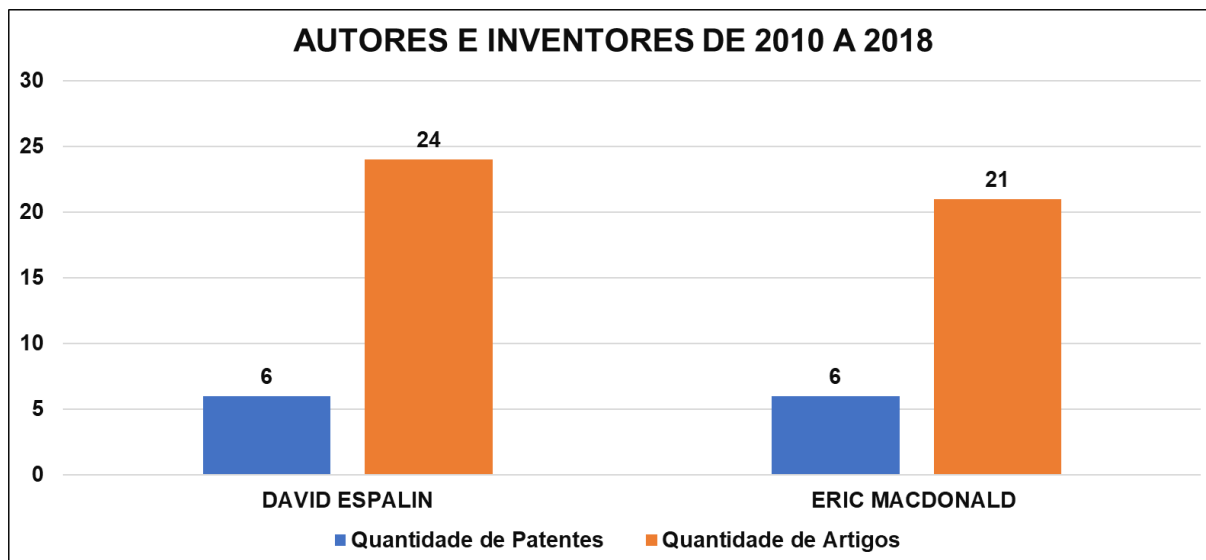


Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel

No cenário tecnológico o gráfico apresenta os grandes players do mercado da manufatura aditiva nos últimos anos. A *Hewlett Packard Development* que figura como primeira no ranking, a *StratasyS* cujo fundador desenvolveu a tecnologia FDM ainda na década de 90, A *Desktop Metal* uma empresa americana que fabrica e comercializa sistemas de Impressão 3D de metal e fibra de carbono, a *General Electric* por meio do núcleo de soluções e consultoria de engenharia para diversos setores - *GE Additive*, a *Sodick* indústria japonesa de fabricação de maquinário para impressão de metais, a *XEROX* com tecnologia de metais líquidos, a companhia *Nanjing Taitao Intelligent System* localizada em uma das maiores cidades com capacidade de inovação na China, o laboratório *Lawrence Livermore National Security* especializado em manufatura aditiva para projetos de aero espaciais. A *Markforged* equipamentos e softwares de inteligência artificial para impressão 3D. E por fim, a *Boeing* com projetos para aviação inclusive um que se destaca por ser base de dados para reposição de peças.

De acordo com os resultados exibidos pelas bases *Scopus e Orbit Intelligence*, os autores com mais publicações de artigos e os inventores com mais depósitos de patentes, estão vinculados às organizações da Figura 16 e Figura 17 respectivamente, e não os que estão simultaneamente presentes Figura 18 nos dois rankings.

Figura 18-Autores/Inventores com mais publicações de documentos científicos sobre manufatura aditiva e impressão 3D



Fonte: Elaborado pelos autores (2019) a partir de dados coletados no Scopus e tratados no software M. Excel

Neste *interim*, na sincronização e autores e inventores só foi possível identificar dois pesquisadores que estavam presentes simultaneamente nos dois grupos. Eric Macdonald (24 artigos, 6 depósitos de patente) e David Espalin (21 artigos, 6 depósitos de patente), ambos vinculados à *University Of Texas System*, que é inclusive a ICT titular da primeira patente da tecnologia SLS Sinterização Seletiva a Laser. (DECKARD, 1989).

A segunda década dos anos dois mil é o período que se observa a ampla divulgação da impressão 3D, não só pelas publicações científicas, que revelam mais de 95% do total de artigos e patentes ao longo do tempo, mas também com alguns indicadores de maturidade tecnológica e mercado (GARTNER, 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento sobre a Impressão 3D permitiu uma o entendimento sobre a construção histórica da tecnologia e suas aplicações. A análise preliminar dos dados impulsionou a categorização por décadas para permitir a análise de todas as fases do surgimento e do desenvolvimento de uma tecnologia. A partir destes resultados foi possível identificar o caminho da inovação de variados processos referentes à Impressão 3D e os principais clusters de Ciência Tecnologia e Inovação.

O artigo apresentou o cenário das publicações nos períodos de 1990 a 1999, de 2000 à 2009 e de 2010 à 2018. O mapeamento da evolução histórica permitiu compreender a importância que o trabalho de pesquisa científica consciente e voltado para inovação é capaz de permitir que o desenvolvimento aconteça.

A primeira década da análise foi marcada pela estruturação das tecnologias e desenvolvimentos de novos métodos. Este cenário se estruturou primeiramente no ambiente acadêmico, o qual podemos afirmar metaforicamente como berço da tecnologia, principalmente encabeçado pelos pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology*.

A segunda década avaliada observou-se que o cenário tecnológico se expande. Apesar do *Massachusetts Institute of Technology* liderar pesquisas verifica-se na análise dos artigos que a pesquisa se

pulveriza em outros locais do mundo, principalmente Europa e Ásia. As primeiras grandes empresas oriundas desse trabalho de base nas universidades se destacam, de acordo com os dados da base de patentes, como *players* nos *clusters* de inovação mundiais determinados pela concorrência mercadológica.

O terceiro período confirmou que as tecnologias de Impressão 3D estão cada vez mais refinadas e associadas à outras tecnologias para melhoramento de gestão de fabricas inteligentes, procedimentos mais criteriosos e maquinário de alto aperfeiçoamento. Além da indústria, a popularização da Impressão 3D em pequenas, médias e microempresas, no uso domésticos e nos ambientes de formação e educação é respaldado pelo movimento *maker*. As universidades continuam produzindo pesquisas, mas também as grandes empresas globais de Impressão 3D pelos seus centros de desenvolvimento e inovação.

Portanto, para além dos resultados obtidos na identificação de autores, inventores, instituições e *players* mundiais, foi possível a constatação de que a Impressão 3D tem multipotencialidades que permitem contribuir para os novos modelos de uma inovação inclusiva.

Artigo submetido para avaliação em 22/09/2021 e aceito para publicação em 28/08/2022

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Chris. **A nova revolução industrial: Makers**. Tradução Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ASTM INTERNATIONAL. **The Global Leader in Additive Manufacturing Standards**. ASTM International, West Conshohocken, Pa., ago. 2017. Disponível em: <https://www.astm.org/ABOUT/OverviewsforWeb2014/Additive-Manufacturing.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2018.
- BOURELL DL, Beaman JB, Leu MC, Rosen DW. A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead. In: **US-Turkey workshop on rapid technologies**. 2009. Disponível em: <http://turkcadcam.net/haber/2009/rapidtech-workshop/presentations/Presentation02.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2019.
- DELOITTE. **Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential Technologies**, 24 out. 2014. Disponível em: <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- GLOBAL INNOVATION INDEX. **Global Innovation Index**, 2019. Disponível em: www.globalinnovationindex.org/about-gii#reports. Acesso em: 15 dez. 2019.
- GUIARÃES, Andréia; ARAÚJO, Márcio; SABA, Hugo. Produção de Patentes na Região Nordeste: Um Estudo Comparativo entre Instituições de Ensino Superior Públicas no Período de 2002 A 2012. **Gestão & Planejamento**, Salvador, v. 17, n. 2, p. 146-161, 15 fev. 2016. DOI 10.21714/2178-8030gep.v20.6007. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rgb/article/view/3944/2901>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. Marina de Andrade Marconi, Eva Maria Lakatos. 5. ed. São Paulo: Atlas 2003.
- LÉVY, P. A Inteligência Coletiva: por uma antropologia do ciberespaço. São Paulo: Edições: Loyola, 1998.
- LIDOV, I.P.; STOCHIK, A.M. 3d printing of the Bolshoi Medical Encyclopedia [O 3-m izdani Bol'shoi meditsinskoï éntsiklopedii.] Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii / Ministerstvo zdravookhraneniia **RSFSR**, v. 16, n. 6, p. 45-47, 1972. Index Keywords article, medicine, USSR; Encyclopedias, Medicine, USSR

LOBATO, P. A.; SAMPAIO, I.; JORGE, C. S. P. ; TANURE, M. G. A. ; JORGE, E. M. F.; Hugo Saba ; MAGALHAES, A. R. . Análise da relação da cultura maker, fablabs e robótica educacional na educação. **SODEBRÁS**, v. 157, p. 60-65, 2019.

RELVAS, Carlos. **O Mundo da Impressão 3D e o Fabrico Digital**. Engebook, 2018.

ROAM, D. **Desenhando negócios**: como desenvolver ideias com o pensamento visual e vencer nos negócios. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SANTAELLA, Lucia **Comunicação e pesquisa**: projetos para mestrado e doutorado. São Paulo: Hacker Editores, 2001.

SCHWAB, Klaus Schwab. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. p.186.

SEMANTIC ANALYSIS EXPERT. **Internet**, 2019. Disponível em: <https://www.my-sae.com>. Acesso em: 2 jul. 2019.

SOUZA, J. G. D.; SPINOLA, N. D. MEDIDAS DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Revista de Desenvolvimento Econômico – RDE**, Salvador, v. 1, n. 36, p. 78-11, abr. 2017. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/4697/3155>. Acesso em: 01 set. 2019.

VOLPATO, N. Ed. **Prototipagem Rápida**: tecnologias e aplicações. Edgard Blucher, 2007.