

DANIEL ROUBICEK

**UMA VISÃO DA INOVAÇÃO DE NEGÓCIOS NA ENGENHARIA DE  
SOLDAGEM COM FOCO NA MANUFATURA ADITIVA**

SÃO PAULO

2019

DANIEL ROUBICEK

**UMA VISÃO DA INOVAÇÃO DE NEGÓCIOS NA ENGENHARIA DE SOLDAGEM COM FOCO NA MANUFATURA ADITIVA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Engenheiro Metalúrgico.

Área de Concentração:

Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Duarte Brandi

Co orientadora: Cristiana Maria Marçal Freire

SÃO PAULO

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catálogo-na-publicação

Roubicek, Daniel

Uma visão da inovação de negócios na engenharia de soldagem com foco na Manufatura Aditiva / D. Roubicek -- São Paulo, 2019.

57 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1. Manufatura Aditiva 2. Inovação de negócios 3. Mercado de soldagem

I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II.t.

“A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces”

Aristóteles

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo

“Nelson Mandela”

## AGRADECIMENTOS

Como diversas matérias e trabalhos ao longo da graduação me ensinaram, muitas vezes tudo fica mais fácil com ajuda de uma mão amiga. Por isso, tenho muitos e muito a agradecer.

Primeiramente, agradeço ao Centro Moraes Rego (CMR) por sempre estar de portas abertas (menos quando a gestão não acorda cedo para abrir), por ser um grande ambiente de alívio do estresse cotidiano e ser minha segunda casa nesses anos de minha graduação.

Agradeço a todos meus amigos, amigas, companheiros e companheiras do CMR e da Poli por tornarem o tempo que eu passei nessa universidade mais feliz, prazeroso e descontraído.

Agradeço aos meus amigos do meu ano, alguns que continuam no meu curso, outros não, alguns que formam comigo, outros que já se formaram e outros que ainda não. Todos ocupam um lugar especial em meu coração.

Agradeço à minha família: meu pai Michael, minha mãe Silvia, meu irmão Bruno e meus avós Karel e Vera. Por me proporcionarem um maravilhoso lar, um constante suporte e ajuda e uma ótima criação, da qual eu me orgulho muito.

Agradeço à minha namorada, Leticia, pelo grande companheirismo, amor e amizade que ela me proporciona desde antes de namorarmos. Aos meus grandes amigos, Fábio, Fernando, Matheus e Bruno por me darem constante apoio e grandes momentos de diversão e alegria no decorrer da formação.

Por fim, agradeço ao meu orientador, o Professor Doutor Sérgio Duarte Brandi, à minha banca e a todos os professores e professoras que me ensinaram muito e ainda mais ao longo desses anos. Agradeço também à Escola Politécnica e à Universidade de São Paulo por tornarem tudo acima possível.

## RESUMO

Este trabalho será uma revisão bibliográfica da literatura com relação a três tópicos: inovação, o mercado de engenharia de soldagem e a tecnologia da Manufatura Aditiva (MA).

Inicialmente será explicitado diferentes formas de se entender inovação (como resultado ou como processo) e a importância de se inovar. Em seguida será abordado o mercado da engenharia de soldagem: contextualização, principais produtos e segmentos, assim como as principais inovações e tendências.

Por fim, mesclando os dois primeiros tópicos, será abordada a tecnologia da Manufatura Aditiva. Primeiramente, a contextualização e explicação da tecnologia, em seguida comparações tecnológicas da MA com outros métodos de produção já presentes no mercado como a customização em massa, usinagem e fundição e, encerrando a sessão, os impactos que essa tecnologia pode ter. Para concluir, alguns comentários explicitaram a visão do autor decorrente da elaboração do trabalho.

## ABSTRACT

This paper will be a bibliographical review of the literature regarding three topics: innovation, the welding engineering market and the technology of Additive Manufacturing (AM).

Initially different types of understanding innovation (as a result or as a process) and the importance of innovating will be explained. Next, the welding engineering market will be discussed: contextualization, main products and segments, as well as the main innovations and trends.

Finally, by merging the first two topics, the technology of Additive Manufacturing will be addressed. First, the contextualization and explanation of the technology, then comparisons of the AM technology with other production methods already on the market such as mass customization, machining and casting and, at the end of the session, the impacts that this technology can have. To conclude, some comments made explicit the author's view arising from the elaboration of the work.

## Lista de Figuras

Figura 1. Matrix Produto – Mercado.....	18
Figura 2. Ciclo de Inovação.....	21
Figura 3 - Soldagem com Realidade Virtual.....	23
Figura 4 - Esquematização de soldagem com eletrodo revestido.....	25
Figura 5 - Soldagem subaquática.....	26
Figura 6. Segmentação do mercado de soldagem.....	29
Figura 7 - Eletrodo revestido Aço Carbono.....	30
Figura 8 - Soldagem Automatizada.....	31
Figura 9. Esquema da MA: (a) modelo CAD 3D; (b) divisão do modelo em camadas; (c) deposição das camadas.....	34
Figura 10 - Camadas produzidas pela Manufatura Aditiva.....	35
Figura 11 - Impressora 3D de mesa.....	38
Figura 12 - Transição da produção em massa para a customização em massa..	39
Figura 13 - Ondas de Schumpeter.....	47
Figura 14 - Dentes produzidos por impressão 3D.....	49



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Processos de Manufatura Aditiva.....	36
Tabela 2 - Comparação Manufatura Aditiva e Customização em massa .....	41
Tabela 3 - Características da Manufatura Aditiva.....	43

## Lista de siglas e abreviaturas

ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CMR	Centro Moraes Rêgo
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EUA	Estados Unidos da América
FSW	<i>Friction Stir Welding</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
MA	Manufatura Aditiva
MAMM	Manufatura Aditiva com Múltiplos Materiais
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inactive Gas</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PTA	<i>Plasma Transferred Arc</i>
RV	Realidade Virtual
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
3D	3 Dimensões

## SUMÁRIO

<b>Sumário</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Objetivos</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>15</b>
3.1 INOVAÇÃO .....	15
3.1.1 <i>Inovação como um resultado</i> .....	17
3.1.1.1 Inovação em produto.....	17
3.1.1.2 Inovação em processo .....	18
3.1.1.3 Inovação organizacional.....	19
3.1.1.4 Inovação de negócio .....	19
3.1.2 <i>Inovação como um processo</i> .....	20
3.1.3 <i>A Importância de Inovar</i> .....	21
3.2 A ENGENHARIA DE SOLDAGEM E SEU MERCADO .....	24
3.2.1 <i>Contextualização</i> .....	24
3.2.2 <i>O mercado de produtos de soldagem</i> .....	26
3.2.3 <i>Segmentação de mercado</i> .....	29
3.2.4 <i>Tendências para o mercado</i> .....	30
3.3 A INOVAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA.....	34
3.3.1 <i>Contextualização</i> .....	34
3.3.2 <i>Comparações</i> .....	38
3.3.2.1 Customização em massa .....	38
3.3.2.2 Usinagem e tecnologias de subtração .....	42
3.3.2.3 Fundição .....	44
3.3.3 <i>Os impactos da Manufatura Aditiva</i> .....	46
<b>4. Comentários</b> .....	<b>50</b>
<b>5. Bibliografia</b> .....	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Hoje mais do que nunca, a inovação é extremamente importante, seja para empresas e negócios, seja para mídias e entretenimentos ou para atividades acadêmicas e progressos científicos.

No entanto, existem diversas formas de se definir inovação e muitos modos de atingi-la, os quais ainda são muito difusos, sendo um grande problema em diversas empresas que apostam em modelos de negócios puramente focados em reduções de custos.

Ao se aprofundar no assunto foi descoberta a Manufatura Aditiva, a qual possui enorme potencial disruptivo dentro desse mercado. Por conta disso, o trabalho dará ênfase à discussão sobre essa tecnologia e os possíveis impactos que ela terá na nossa sociedade.

Este trabalho fará uma revisão bibliográfica dos diferentes tipos de inovação, do mercado de engenharia de soldagem e seus produtos e da tecnologia da Manufatura Aditiva. A formulação do texto é motivada por constantes inovações nesse mercado e o grande potencial apresentado pela Manufatura Aditiva.

Na primeira sessão serão discutidos os diferentes tipos de inovação, por exemplo, como um resultado ou como um processo. Sempre que possível exemplos serão proporcionados para melhor compreensão. Ao fim, será feita uma discussão sobre a importância de se inovar atualmente.

Na sessão seguinte será abordado o mercado da engenharia de soldagem: seu atual contexto, seus principais produtos e segmentos, e suas macrotendências. Será explicitado que segmentos (de produtos, tecnologias, aplicações e regiões) apresentam maior participação no mercado, melhor desempenho recente e melhores perspectivas futuras.

Por fim, será tratado o foco deste trabalho: a inovação que é a Manufatura Aditiva (MA). Esta é uma nova tecnologia disruptiva que apresenta enormes potenciais em determinadas aplicações, principalmente em pequenos lotes de produção e/ou em aplicações que exijam designs similares, porém distintos de produtos.

Inicialmente o contexto deste método de produção será explanado, em seguida serão feitas comparações com outros métodos de produção já empregados no mercado como a customização em massa, a usinagem e as tecnologias de subtração e, por fim, a fundição.

Para concluir serão discutidos os principais impactos que a Manufatura Aditiva pode ter nas indústrias de manufatura e na sociedade como um todo, assim como comentários finais sobre os temas analisados no decorrer do trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Esse trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão bibliográfica da literatura sobre inovações no mercado de soldagem. Inicialmente será definido o que é inovação e quais são seus diferentes tipos. Na sequência será abordado o mercado de soldagem, sua situação atual e quais inovações estão surgindo, e mostrando maior potencial.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Apontar os tipos de inovação e como eles se distinguem;
- Entender o mercado de soldagem atual, as suas tendências e quais inovações o estão transformando;
- Abordar a Manufatura Aditiva e os impactos que esta pode ter nos meios de produção atualmente empregados;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 INOVAÇÃO

Inovação é impulsionado pela habilidade de enxergar conexões, perceber oportunidades e, efetivamente, tirar proveito delas. Inclusive, inovação não se trata apenas da abertura de novos mercados, ela também pode oferecer novas maneiras de se atender os já estabelecidos e os maduros (BESSANT e colab, 1997).

O conceito de inovação é derivado da palavra *innovatio*, termo latino que representa uma criação que não tem equivalente em padrões anteriores.

Outro conceito de inovação é mais amplo e depende, majoritariamente, da sua aplicação. De forma resumida, é possível considerar que inovação pode ser definida como: a introdução de algo novo ou de uma ideia, método ou dispositivo novo. Desde que seja utilizável pelo mercado (MERRIAM-WEBSTER, 2017).

Embora similares, ambas definições possuem distinções importantes. A primeira apresenta inovação como um resultado, já a segunda apresenta inovação como um processo.

No entanto, devemos pensar em inovação tanto como um resultado como um processo. As organizações que escolherem apenas um dos dois caminhos falharão em suas buscas; as que se concentrarem estritamente no resultado minimizarão a importância do processo, levando a ineficiências. Já, as preocupadas apenas com o processo, resultarão em grandes burocracias que tornam difícil a obtenção de resultados (KAHN, 2018).

Um erro comum é acreditar que inovação deve ser algo completamente novo e radical por natureza e que pequenas inovações incrementais não são relevantes. Um dos problemas dessa crença é que inovações radicais são muito mais desafiadoras e podem exigir muitos recursos, refletindo em um risco muito elevado. Já a inovação

incremental, aliada à radical, equilibra os esforços e possibilita um melhor resultado. Organizações bem-sucedidas entendem que inovação é algo de longo prazo, partindo de pequenas mudanças até as inovações radicais (KAHN, 2018).

Dentre as muitas possibilidades de inovar, aquelas que se referem a inovações de processo ou de produto podem ser especificadas como inovações tecnológicas. Já outros tipos de inovações podem se relacionar a novos mercados, modelos de negócio, processos e métodos organizacionais ou até fontes de suprimentos (ABGI, 2019).

Com isso, não apenas é necessário reconhecer a necessidade de inovar, como também de buscar conhecimento quanto às maneiras de fazer isto, levando em conta a organização e a maturidade da organização em questão.

Organizações estão incluindo o termo inovação em suas visões, missões e objetivos. Políticos mencionam regularmente o termo em seus discursos, centros de inovação estão surgindo em diversos campi universitários, e a posição de Diretor de Inovação está se tornando cada vez mais comum nas empresas (KAHN, 2018).

Algumas inovações na área de soldagem serão abordadas nesse trabalho. Desde aplicações da Realidade Virtual (RV) a treinamentos de soldadores, passando por soldagens completamente automatizadas e, por fim, entrando em detalhes sobre a Manufatura Aditiva.

Contudo, inovação não está limitada apenas à indústria de manufaturados; exemplos de recuperações através da inovação podem ser encontrados desde serviços e produtos até os setores públicos e privados (BESSANT e colab, 1997).



### **3.1.1 Inovação como um resultado**

#### **3.1.1.1 Inovação em produto**

Embora denominada como inovação em produto, os termos “serviços” ou “programas” podem ser utilizados no lugar. Inovação em produto é quando uma empresa ou organização estreia um produto ou serviço novo no mercado ou, até mesmo, altera ou melhora a experiência de uso do consumidor tão significativamente que provoca um grande efeito no mercado em que o produto está inserido.

Uma forma de conduzir inovação em produtos é considerar também a estratégia de marketing da organização. Ao se delinear o mercado a ser atingido e a tecnologia a ser oferecida como atual ou nova, pode-se escolher dentre quatro tipos de estratégias: penetração de mercado, desenvolvimento de produto, desenvolvimento de mercado e diversificação (KAHN, 2018).

Conforme a Figura 1 mostra, o risco aumenta à medida que uma organização muda de uma estratégia de penetração de mercado para uma de diversificação. Isso exemplifica que muitas organizações não podem se dar ao luxo de focar em apenas um tipo de inovação em produto. Muito pelo contrário, diversos tipos de novos projetos de produtos devem ser, simultaneamente considerados, para se estruturar um portfólio que minimize o risco e maximize o retorno (COOPER e EDGETT, 2002).



Figura 1. Matrix Produto – Mercado

Fonte: adaptado de <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/strategy/an-soff-matrix/>

Um exemplo desse tipo de inovação no qual um produto novo era apenas uma alteração significativa de um produto já existente foi o *iPad*. Desde 1989 já existia no mercado um concorrente similar da *Grid Systems* - um *pen computer* muito parecido com os tablets atuais – mas apenas a partir do *iPad* essa categoria de dispositivo é estabelecida e se torna relevante (SBCOACHING, 2018).

### 3.1.1.2 Inovação em processo

Inovação em processo se trata da criação um novo método para algum processo operacional que seja essencial para o negócio em questão. Usualmente, esse tipo de inovação gera ganhos em produtividade, comumente com redução de custos, sem contar avanços em qualidade, em tempo do serviço ou no produto final.

Exemplos desse tipo de inovação são diversos, podendo-se citar: automóveis produzidos com utilização de robôs em comparação à produção por operários

humanos (ABGI, 2019), assim como processos de soldagem por brasagem substituindo processos de soldagem mais tradicionais como o GMAW.

#### 3.1.1.3 Inovação organizacional

A inovação organizacional deve envolver grandes mudanças na forma como a empresa ou a organização é formalmente organizada. Exemplos seriam a implementação de uma nova cultura organizacional, de novos métodos de gestão ou até do redesenho de todo seu organograma. Em geral, quando uma empresa é realmente inovadora nesse sentido, acaba por inspirar diversas outras a adotarem medidas ou modelos parecidos para também tirar em proveito dos possíveis benefícios (SBCOACHING, 2018).

#### 3.1.1.4 Inovação de negócio

A inovação de modelo de negócios é algo que altera a indústria em que a organização está incluída. Existem três principais tipos de inovação de modelo de negócios, os quais podem ser usados sozinhos ou em combinação: inovação de modelo de indústria, inovação de modelo de receita e inovação de modelo empresarial (IBM GLOBAL BUSINESS SERVICES, 2009).

O primeiro tipo envolve a inovação da cadeia de valor da indústria ao se mover para novas indústrias, redefinindo a existente ou criando uma nova. O segundo tipo trata da geração de receita ao se reconfigurar o *mix* de produtos/serviços e o modelo de precificação da organização. O último tipo é a inovação do papel da organização na cadeia de valor alterando a empresa e sua rede de funcionários, fornecedores e clientes (IBM GLOBAL BUSINESS SERVICES, 2009).

A inovação nesse sentido se dá quando a organização cria uma nova lógica de funcionamento inédita no mercado. Um excelente exemplo desse tipo de inovação é a *startup* Uber, a qual possui uma receita derivada de um percentual do valor das corridas que seus clientes realizam com seus motoristas por meio do aplicativo. Um

modelo de negócio completamente diferente dos táxis e transportadoras já presentes nesse mercado (SBCOACHING, 2018).

Este será o tipo de inovação que será abordado em mais detalhes ao longo deste trabalho, buscando diferentes exemplos e entrando em detalhes no caso da Manufatura Aditiva a laser, uma tecnologia similar à impressão 3D que faz uso de metais e técnicas de soldagem já existentes para construção de peças com progressivas deposições de camadas metálicas.

### **3.1.2 Inovação como um processo**

Um modelo de processo de inovação apresenta três fases: descobrir, desenvolver e entregar (KAHN, 2018). Na primeira fase, a de descoberta, a organização explora o seu cenário em busca de oportunidades com bom potencial e as delinea. Oportunidades promissoras são encaminhadas para a fase de desenvolvimento, na qual a concepção da oferta é realizada e as especificações determinadas. Na fase de entrega a oferta é introduzida e devidamente colocada em uso, o que pode incluir a sua venda no mercado. Ver Figura 2.

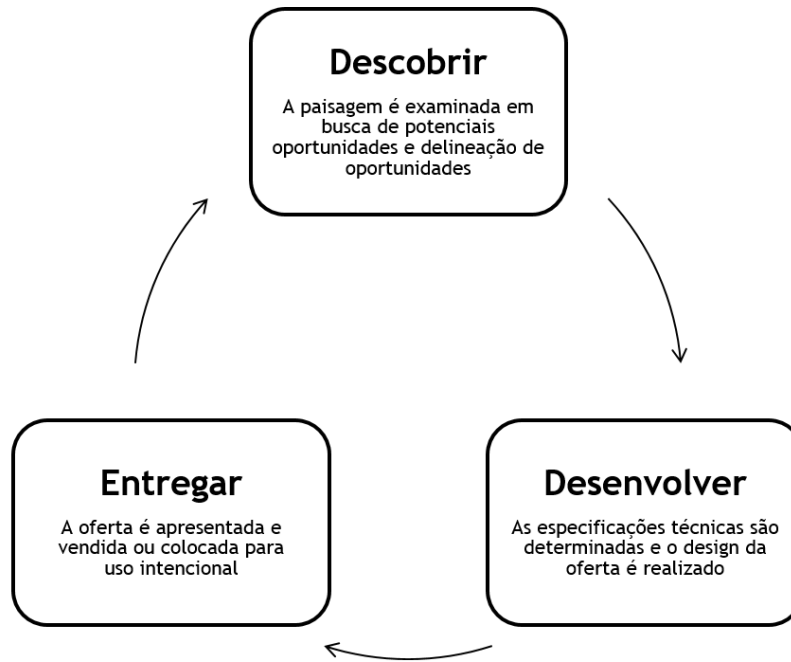


Figura 2. Ciclo de Inovação como um processo

Fonte: adaptada de Understanding innovation (KAHN, 2018)

Um importante ponto da inovação surge da fase de entrega e é o que a distingue de processos de idealização e de invenção. A idealização é o processo criativo subjacente à geração de ideias e a invenção se trata de pegar um novo conhecimento e criar algo que não existia antes (CRAWFORD e BENEDETTO, 1987).

Já a inovação é mais do que a criação de algo novo ou do que a concepção de novas ideias. A inovação inclui a execução e a entrega da oferta nas mãos dos consumidores. Estas são fases essenciais, sem elas uma organização não alcançará a inovação.

### 3.1.3 A Importância de Inovar

Inovar é essencial para a sustentabilidade de empresas, organizações ou, até mesmo, países. Isso se dá devido ao fato de as inovações possibilitarem a geração de vantagens competitivas a médio e longo prazo.

Com isso, ao deixar de buscar a inovação, a organização em questão está sendo ultrapassada por seus possíveis concorrentes que estão se empenhando nessa questão. Empresas que inovam conseguem obter vantagens em relação aos seus demais concorrentes. Por isso, esse conceito atraiu a atenção mundial e “inovação” está sendo chamada de “a palavra mais importante e mais usada nos Estados Unidos” (O’BRYAN, 2013).

Mesmo que momentaneamente, a inovação tem a capacidade de agregar valor aos produtos ou serviços das organizações, distinguindo-as no ambiente competitivo. Aquelas que possuem alto nível de competição em produtos ou serviços e conseguirem inovar, terão muita vantagem em relação à concorrência.

Seja essa inovação do tipo produto, negócio ou processo, seja de forma brusca ou incremental, essas organizações conquistarão a possibilidade de acessar novos mercados ou fazer novas parcerias com o aumento de conhecimento ou mesmo de receita. Conseqüentemente, aumentarão o valor de mercado de seus marcas (ABGI, 2019).

A inovação no mercado de soldagem por ser verificada em diversas aplicações. Pode-se mencionar a utilização de equipamentos de realidade virtual para melhor treinamento e profissionalização de soldadores, vide Figura 3. Essa tecnologia é extremamente relevante já que o êxito da soldagem é influenciado por diversos fatores e parâmetros distintos, muitos deles empíricos.



Figura 3 - Soldagem com Realidade Virtual

Fonte: extraída de <https://blogdosoldador.com.br/realidade-virtual-no-ensino-da-soldagem/>

## 3.2 A ENGENHARIA DE SOLDAGEM E SEU MERCADO

### 3.2.1 Contextualização

A soldagem é um processo tecnológico, econômico e confiável de união de materiais.

Soldagem e processos térmicos relacionados utilizam gás e/ou corrente elétrica para fornecer uma fonte de calor concentrada que funde o aço e outros metais (MARKET.US, 2019).

A maioria dos objetos fabricados hoje em dia, de prédios e pontes até veículos e dispositivos médicos, não seriam possíveis de se fabricar sem o uso da soldagem. O futuro dela é ainda promissor devido a novos métodos e processos que estão sendo desenvolvidos para união de materiais dissimilares e não metálicos, e na criação de produtos com formas e desenhos inovadores.

Em alguns processos de soldagem, além de se fundir o metal de base, um metal de adição geralmente é adicionado à junta para formar uma poça de material fundido que resfria para formar a junta. Esta, após o processo, pode apresentar resistência até maior do que a do material de base. A Figura 4 exemplifica um processo de soldagem com eletrodo revestido.



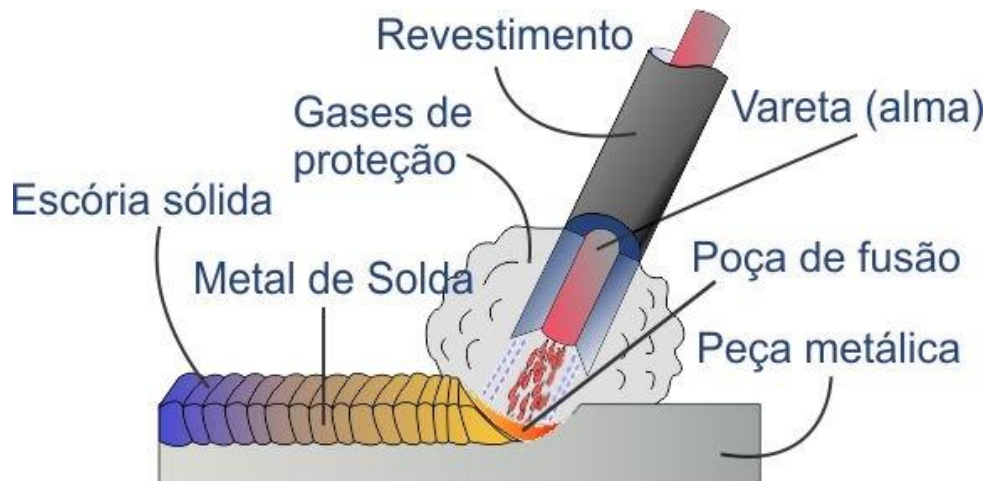


Figura 4 - Esquemática de soldagem com eletrodo revestido

Fonte: extraída de <http://www.heavyduty.com.br/blog/eletrodo-revestido-saiba-tudo-sobre>

A soldagem também requer uma forma de proteção para prevenir os metais fundidos de contaminações ou oxidações. Essa proteção, em geral, é feita através de uma atmosfera protetora com gases inertes. Além disso, diversas fontes de energia podem ser usadas para soldagem, incluindo uma chama de gás, arco elétrico, laser, feixe de elétrons, fricção e ultrassom (BRANDI e colab., 1992).

A soldagem também pode ser realizada em muitos ambientes diferentes, incluindo ao ar livre, debaixo de água e no espaço (vide Figura 5, uma soldagem subaquática). A soldagem é perigosa e precauções são necessárias para evitar queimaduras, choque elétrico, danos à visão, inalação de gases e de vapores venenosos e a exposição à radiação ultravioleta intensa.

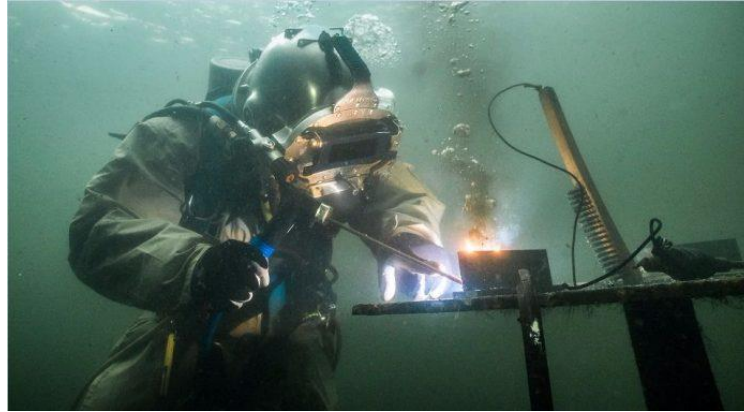


Figura 5 - Soldagem subaquática

Fonte: extraída de <https://engenhariae.com.br/curiosidades/soldagem-subaquatica-saiba-mais-sobre-uma-das-profissoes-mais-perigosas-do-mundo>

A tecnologia de soldagem é extensamente utilizada na construção de dutos, pontes, edifícios e outros trabalhos da engenharia de infraestrutura. Os produtos soldados são projetados com precisão, a fim de se adequarem as ligas utilizadas às suas determinadas atmosferas de trabalho. A maioria das indústrias, tais como automotivas, construção naval e civil, geração de energia, e outras são altamente dependentes de equipamentos de soldagem para fabricações gerais e pesadas (MARKET.US, 2019).

### **3.2.2 O mercado de produtos para soldagem**

O mercado global de produtos de soldagem pode ser estimado, em 2017, em US\$ 13,2 bilhões, com uma projeção de expansão de aproximadamente 5,7% ao ano de 2017 para 2025. Alguns motivos dessa acelerada projeção são o bom crescimento do setor de construção civil, aliado a tecnologia avançada da indústria automotiva (GRAND VIEW RESEARCH, 2016).

Os Estados Unidos, por exemplo, são o maior contribuinte das Américas, como seria de se esperar. O país deverá também impulsionar o mercado devido à crescente demanda do setor de construção civil e de siderurgia. Também impulsionam esse

mercado a rápida industrialização e o desenvolvimento de infraestrutura em grandes economias mundiais na Ásia-Pacífico, tais como China, Índia, Austrália e Cingapura.

Dentre esses, estima-se que a China lidere a indústria de construção civil na região. Porém, embora o tamanho do mercado indiano seja menor, espera-se que ele cresça em um ritmo mais acelerado, devido à presença de iniciativas governamentais (GRAND VIEW RESEARCH, 2016).

Pode-se citar algumas das grandes empresas desse mercado: Colfax Corporation, Hyundai Welding Co. Ltd., The Lincoln Electric Company, Voestalpine AG, Panasonic Welding Systems Co. Ltd, Denyo Co. Ltd., Illinois Tool Works Inc., Air Liquide, Obara Corporation and Sandvik AB, dentre outras (MARKET.US, 2019).

Outro ponto a ser mencionado é o aumento das atividades comerciais e como isto vem levando a indústria de construção naval a acelerar a fabricação de embarcações. Como essa indústria é um dos principais usuários finais de produtos para soldagem e seus equipamentos, espera-se um forte crescimento da área. Além disso, vários pedidos que estão em espera de gasodutos e oleodutos são fatores que afetam o crescimento desse mercado (MARKET.US, 2019).

Por outro lado, possíveis empecilhos para a expansão desse mercado são a falta de mão-de-obra qualificada e bem treinada, assim como os altos investimentos que ela necessita. Em contraponto, atuais desenvolvimentos em tecnologias avançadas estão se tornando essenciais para suprir as crescentes necessidades de propriedades superiores em materiais, tais como melhor resistência à corrosão e ao desgaste decorrente do uso.

O soldador profissional é uma parte fundamental da força de trabalho e a indústria da soldagem está enfrentando um desafio na crescente escassez de soldados qualificados. O envelhecimento da força de trabalho atual e a falta de novos trabalhadores qualificados vão impactar as várias indústrias de aplicação de tecnologia de soldagem. Para atender às necessidades atuais e futuras demandas do mercado,

são necessários novos equipamentos e tecnologias que sejam menos complexos, mas altamente eficientes (GRAND VIEW RESEARCH, 2016).

Segundo a Sociedade Americana de Soldagem, espera-se que a indústria enfrente uma escassez de mão de obra qualificada de cerca de 400.000 funcionários nos próximos anos. As empresas do setor estão combatendo esse problema tentando aumentar a quantidade de mão-de-obra de soldadores, seja por treinamento de mais operadores ou melhorias na produtividade dos já existentes (GRAND VIEW RESEARCH, 2016).

Outra novidade a se considerar é a crescente adoção de aplicativos de Realidade Virtual (RV) na indústria de soldagem. Escolas de treinamento estão usando esses aplicativos para fazer demonstrações e treinar profissionais. Na parte de pesquisa e desenvolvimento (P&D), novos produtos podem se beneficiar muito da RV (GRAND VIEW RESEARCH, 2016).

Além disso, a realidade virtual apresenta outro importante benefício: não necessitar de insumos. Ao longo do treinamento de um soldador, muitos insumos são desperdiçados visando o aprendizado do profissional. Não apenas, durante o treinamento muitos acidentes graves podem ocorrer. Com a aplicação da RV ambas essas questões deixam de ser problemas.

Por exemplo, a avaliação dos conceitos de design de engenharia pode ser feita virtualmente antes de se produzir qualquer protótipo, economizando tempo e dinheiro. A RV é altamente pertinente nesta indústria já que o sucesso da soldagem depende de uma combinação de configurações e parâmetros influenciados por uma grande variedade de fatores empíricos.

Para isso, novos trabalhos estão sendo realizados no desenvolvimento de novos materiais que possam dar continuidade a ampliação desse mercado (FINDIK, 2010).

### 3.2.3 Segmentação de mercado

Dentro do mercado da soldagem como um todo, existem diversos tipos de segmentações utilizadas para melhor entendê-lo. A Figura 6, apresenta a divisão do mercado da soldagem em quatro segmentos: tecnologia, produto, aplicação e região.



Figura 6. Segmentação do mercado de soldagem

Fonte: adaptada de Welding Products Market (GRAND VIEW RESEARCH, 2016)

Na área da tecnologia, a soldagem a arco foi responsável pela maior parte dos produtos de soldagem em 2015, representando cerca de dois terços do crescimento do mercado da soldagem mundial, seguida pela soldagem por resistência e a soldagem por oxi-corte (TOTAL MATÉRIA, 2007).

No caso do segmento de produtos, os eletrodos revestidos foram os mais consumidos nesse mercado em 2015 (vide Figura 7), seguidos pelos arames maciços.



Figura 7 - Eletrodo revestido Aço Carbono

Fonte: extraída de <https://www.ferramentaskennedy.com.br/108684/eletrodo-revestido-aco-carbono-25mm-weld-6013-esab-kg>

Já, na segmentação regional, o mercado Ásia-Pacífico foi responsável pelo maior consumo de produtos de soldagem, seguido pela Europa e, em terceiro, a América do Norte, principalmente os Estados Unidos (EUA) (MARKET.US, 2019).

### **3.2.4 Tendências para o mercado**

Para se ter um melhor entendimento das tendências desse mercado, deve-se determinar seus padrões históricos, sua atual posição e considerar fatores que o impactarão no futuro. Essas tendências, no entanto, não dependem apenas do próprio mercado da soldagem, mas também de fatores que afetam as suas indústrias clientes.

Estudando em mais detalhes as inovações que estão surgindo, sabe-se que a soldagem semiautomática tende a receber uma grande quantidade de investimentos, assim como a soldagem automatizada, vide Figura 8, porém em ritmo menos acelerado.

A soldagem manual, no entanto, está diminuindo, em relação ao total. Com isso, seguem as seguintes possíveis tendências para o futuro do mercado da soldagem (TOTAL MATÉRIA, 2007):

- Contínua necessidade de se reduzir os custos de fabricação e melhorar a eficiência e a produtividade, uma vez que salários para funcionários qualificados, custos dos materiais utilizados e os preços de combustíveis e energia tendem a aumentar;
- Contínua necessidade de se utilizar materiais de maior resistência, mas com menor peso;
- Aumento dos níveis de confiabilidade exigidos e da qualidade dos pré-requisitos;
- Aumento de automação e de soldagens automatizadas;



Figura 8 - Soldagem Automatizada

Fonte: extraída de <https://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/fundamentos/223-soldagem-obotizada>

Um fator de extrema importância na indústria atualmente é a produtividade. Pode-se considerar produtividade como sendo a quantidade de soldagens que podem ser realizadas em um dia. A produtividade é determinada por diversos outros fatores, o mais importante deles é o fator soldador, ou ciclo de trabalho. Pode-se definir o fator soldador como a quantidade, ou porcentagem, de minutos em um turno de oito horas que foram gastos efetivamente soldando (TOTAL MATÉRIA, 2007).

Diferentes tipos de processos de soldagem possuem diferentes ciclos de trabalho. A soldagem manual, por exemplo, possui o menor deles, a semiautomática é aproximadamente duas vezes mais eficiente, e, a soldagem automatizada, se aproxima dos 100% de eficiência. Com isso, podemos observar uma tendência à automação dos processos de soldagem, uma vez que eles tornam a linha de produção mais eficiente, rápida, confiável e reduzem custos. Assim, máquinas automáticas e controladas por computadores se tornarão mais comuns nos próximos anos e todo esforço tende a ser feito para reduzir a quantidade de trabalho manual envolvido (TOTAL MATÉRIA, 2007).

Ainda sobre redução de custos, pode-se citar a redução da quantidade de metal de solda necessário para se unir as peças. Essa redução representa diretamente uma economia de material e de custo.

Outro fator que afeta a produtividade é a taxa de deposição do processo. Soldagens que utilizam correntes elétrica maiores, em geral, possuem taxas de deposições maiores. Com isso, a soldagem a arco e a por eletro-escória devem manter, ou mesmo aumentar suas respectivas importâncias no mercado atual.

O fator seguinte a ser abordado se relaciona aos custos dos materiais. É essencial se obter o máximo de aproveitamento possível dos metais de adição comprados. Processos como soldagens a arco podem depositar quase a totalidade do metal de adição. A soldagem GMAW, por exemplo, consegue proporcionar uma taxa de 95% de aproveitamento.

A soldagem com eletrodos revestidos possui a menor taxa de deposição, resultando em apenas cerca de 65% do material sendo depositado (TOTAL MATÉRIA, 2007).

As soldagens MIG/MAG estão sendo substituídas por processos de arco com proteção gasosa, brasagem e solda por resistência. O processo de soldagem a arco



GTAW também crescerá rapidamente uma vez que ele é adaptável à automação e já é usado em trabalhos de alta qualidade e para soldagens de ligas especiais e materiais mais finos. A soldagem a plasma tem potencial de crescer tão rapidamente quanto o GTAW, ou até mais, assim que suas competências forem devidamente conhecidas.

Já o processo de soldagem com fluxo vem crescendo modestamente. Espera-se que esse crescimento continue. No entanto, devido à menor taxa de aproveitamento e um maior custo do fluxo utilizado, esse crescimento não deve ser tão rápido quanto das tecnologias anteriormente mencionadas (TOTAL MATÉRIA, 2007).

Por fim, processos mais recentes e de natureza mais especializada também crescerão, mas eles não devem se tornar grandes segmentos da indústria total. Estes processos incluem soldagem a laser, por feixe de elétrons, por fricção (*friction stir welding, FSW*), por difusão e por ultrassom (TOTAL MATÉRIA, 2007).

### 3.3 A INOVAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA

#### 3.3.1 Contextualização

A Manufatura Aditiva a laser pode ser definida como uma tecnologia que utiliza a deposição camada por camada para criar objetos novos com formas livres, da base para o topo. Inicialmente deve-se criar um modelo virtual do objeto desejado, em CAD 3D (Figura 9a). Na sequência, deve-se converter esse modelo em camadas (Figura 9b) e então, determinar a trajetória (linguagem CNC) e os parâmetros de deposição (Figura 9c) (GIBSON e colab., 2010).

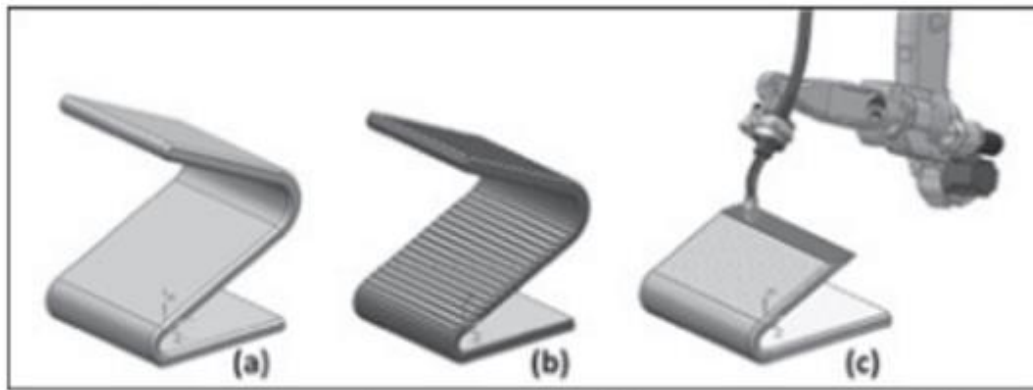
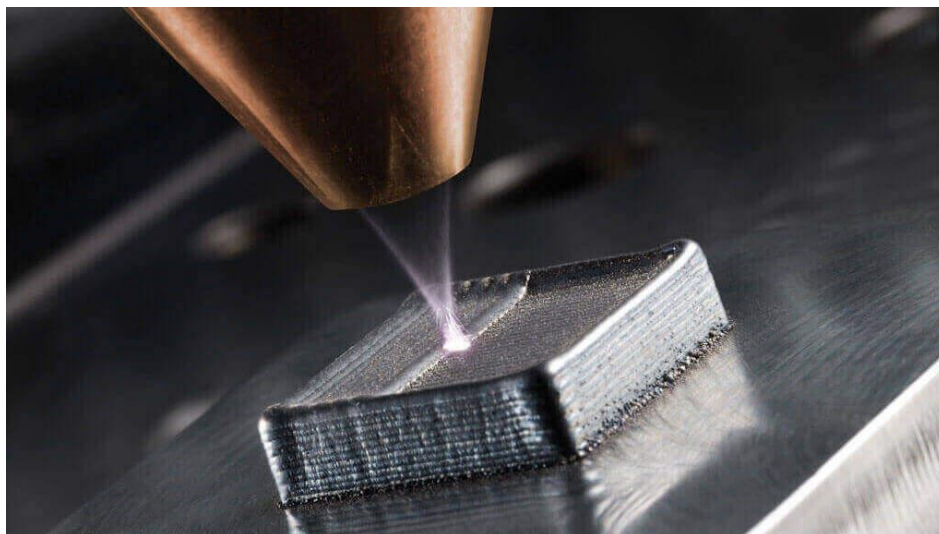


Figura 9. Esquema da MA: (a) modelo CAD 3D; (b) divisão do modelo em camadas; (c) deposição das camadas

Fonte: extraída de Manufatura Aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade (ALBERTI e colab., 2014)

As impressoras 3D operam com pós ou filamentos que são lentamente incorporados camada por camada para formação da peça final (vide Figura 10 em que se pode observar as diferentes camadas produzidas). Todas impressoras 3D utilizam algum software CAD 3D para determinar exatamente como cada camada deve ser construída. (BERMAN, 2012).



*Figura 10 - Camadas produzidas pela Manufatura Aditiva*

*Fonte: extraída de <https://novidia.com.br/blog/manufatura-aditiva/>*

Tecnologias que utilizam um modelo virtual para criação de produtos físicos podem ser descritas como prototipagem rápida. O termo “rápida” diz respeito à facilidade de se construir um objeto, dado que apenas é necessária a elaboração de uma versão virtual desse objeto em um programa de CAD para a sua posterior construção. Já, o termo “prototipagem” se refere a este processo como sendo demasiadamente lento para a produção em larga escala, ao contrário de tecnologias como injeção em moldes, as quais resultam grandes quantidades de produtos com preços unitários baixos (BERMAN, 2012).

No entanto, hoje em dia, essas tecnologias vão muito além da prototipagem, possibilitando a fabricação de componentes funcionais diretamente a partir de um arquivo digital (ALBERTI e colab., 2014). Diante disso, um comitê técnico da ASTM chegou ao consenso de uma nova terminologia a ser adotada: “Manufatura Aditiva” (MA).

Atualmente, todos os equipamentos comercializados de MA se baseiam na abordagem “camada por camada” e o diferencial entre eles está no material que pode,

ou não, ser processado. A Tabela 1 descreve os possíveis processos de Manufatura Aditiva em função dos materiais possíveis de se processar. A habilidade desses equipamentos de processar diferentes materiais se desenvolveu em uma nova abordagem denominada Manufatura Aditiva com Múltiplos Materiais (MAMM) (GIBSON e colab., 2010).

Tabela 1 - Processos de Manufatura Aditiva

<b>Processo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Método de MA</b>	<b>Material</b>
Foto polimerização	Um polímero foto curável é curada seletivamente usando uma fonte de luz	Laser	Polímero foto curável
Modelagem por extrusão	Material é depositado de forma seletiva através de um cabeçote extrusor	Aquecimento por uma resistência elétrica	Polímeros, cerâmicas e metais
Fusão de pós pré-depositados	Um feixe eletrônico funde seletivamente regiões de um leito com pó pré-depositado	Laser e feixe de elétrons	Polímeros, cerâmicas e metais
Cladding 3D	O material de adição na forma de pós é injetado diretamente no feixe/poça	Laser e PTA	Metais e cerâmicas
Arco elétrico	Fonte de energia é um arco elétrico que funde o material de adição (pó/arame)	PTA, GTAW, GMAW	Metais

Fonte: adaptada de Additive Manufacturing Technologies (GIBSON e colab., 2010)

A MAMM possui diversas vantagens sobre a MA, uma delas é a habilidade de se melhorar o desempenho de um componente por meio de um design ou arquitetura microestrutural. Em outras palavras, podemos utilizar diferentes materiais ou

diferentes composições de materiais em diferentes regiões estratégicas de uma peça, melhorando o seu desempenho final.

Possíveis aplicações para isso podem ser citadas como: materiais com maior resistência à erosão, à corrosão e à altas temperaturas (por exemplo em turbinas a gás), materiais com melhor condutividade térmica em canais de refrigeração em moldes de injeção sobre pressão e, ainda, a redução de perdas em processos de fabricação de componentes da indústria aeroespacial (ALBERTI e colab., 2014).

Um exemplo que pode ser citado é a impressão 3D utilizando resinas e endurecimento por laser ultravioleta. Nesse processo a impressora deposita um camada fina de resina líquida que é então endurecida por radiação ultravioleta controlada por computador. Camada por camada é depositada e endurecida à medida que o material cresce e ganha a forma desejada. Por fim, excessos de resina são retirados por meio de um banho químico e temos a peça final pronta (BERMAN, 2012).

Esses processos não são apenas flexíveis com relação à geometria da peça a ser criada, mas também podem ser muito velozes. Objetos como engrenagens e peças móveis, os quais não mais necessitariam de montagem de partes, podem ser produzidos em até uma hora (BERMAN, 2012).

Contudo, apesar dos grandes benefícios que a MA pode nos trazer, ainda existem alguns importantes obstáculos que precisam ser ultrapassados para viabilizar muitos novos processos. Pode-se citar dois: o grande tempo de fabricação de um componente (ainda são muito maiores do que processos de produção em massa) e a pequena disponibilidade de máquinas que possuam a flexibilidade necessária para trabalhar com muitos materiais, geometrias e com a precisão adequada (BOURELL e colab., 2009).

Podemos comparar com as impressoras 3D de polímeros que inicialmente eram muito restritas e custosas, mas, atualmente, já possuem um uso, um custo e até

um tamanho mais acessíveis (vide Figura 11). Com a maior disponibilização dos resultados de pesquisas e mais frequentes utilizações, a Manufatura Aditiva pode se tornar cada vez mais competitiva. (ALBERTI e colab., 2014).

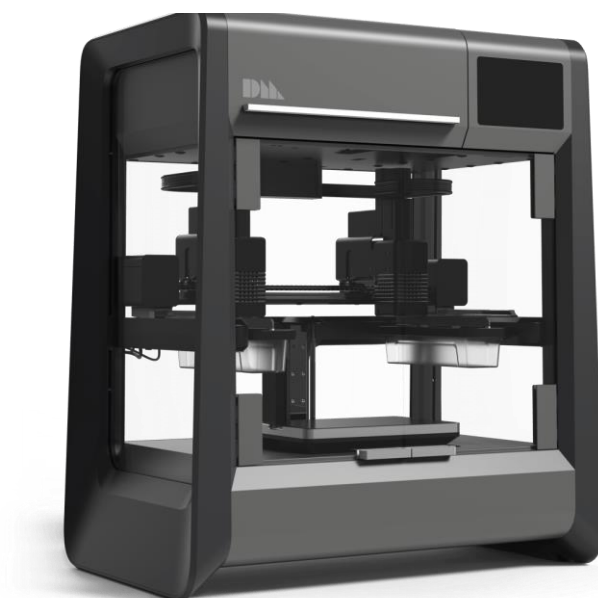


Figura 11 - Impressora 3D de mesa

Fonte: extraída de <https://www.lwtsistemas.com.br/noticias/stratasys-manufatura-aditiva-de-metals/>

### **3.3.2 Comparações**

#### **3.3.2.1 Customização em massa**

A customização em massa surge devido à demanda por produtos com uma maior flexibilidade e agilidade de produção. Esta pode ser explicada como o avanço de processos mais tradicionais já existentes nas indústrias, vide Figura 12.

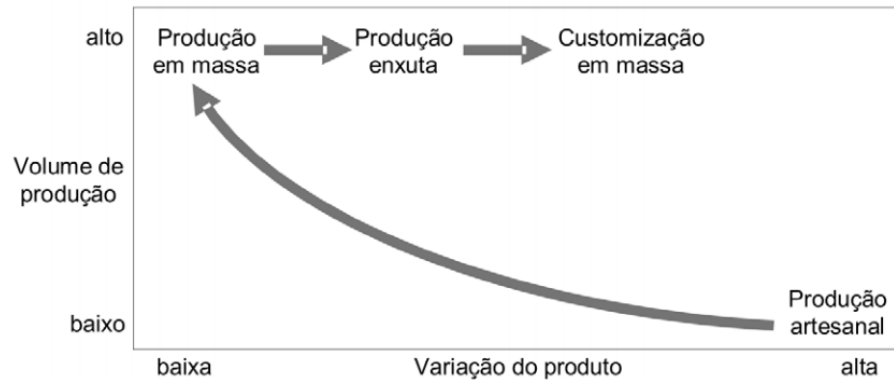


Figura 12 - Transição da produção em massa para a customização em massa

Fonte: extraída de (VIGNA e MIYAKE, 2009)

A Manufatura Aditiva a laser e a customização em massa são comumente comparadas e, ao menos tempo, diferenciadas. Entusiastas da impressão 3D alegam que, como a customização em massa, essa tecnologia possibilita que empresas consigam produzir produtos customizados em pequenas quantidades e com boa rentabilidade.

Embora as duas tecnologias permitam a geração de lucros em pequenas escalas, não atingíveis em indústrias baseadas em economias de escalas, ambas envolvem exigências logísticas e técnicas de fabricação muito diferentes (BERMAN, 2012).

No primeiro caso, a Manufatura Aditiva a laser utiliza matérias primas já disponíveis no mercado e que podem ser compradas de um pequeno número de fornecedores. Já a customização em massa, por utilizar componentes que muitas vezes são adquiridos de diversos fornecedores diferentes, exigem uma organização logística muito mais complexa que possa garantir o número correto de componentes e peças disponíveis em um dado momento.

Outra diferenciação logística é o fato de a customização em massa geralmente ser uma operação realizada por equipes de profissionais, enquanto na impressão 3D o processo produtivo é completamente automatizado e baseado em *softwares*. Segundo o CEO da 3D Systems, produtora de impressoras 3D, tudo o que o profissional

precisa fazer para produzir uma peça é carregar um arquivo; o resto é trabalho da máquina. Ele a chama de “fábrica flexível em um caixa” (ALPERN, 2010).

Um ponto em comum de ambas tecnologias é a alteração dos meio de produção como sendo uma mão única direcionada dos produtores aos consumidores, passando a ser uma interação de mão dupla. Ou seja, com essas tecnologias os clientes podem opinar e escolher determinadas características do seu produto, vide Figura 13. No caso da MA os clientes podem solicitar alterações no design de seus produtos e, no caso da customização em massa, podem optar por determinados componentes que darão, ao produto final, diferentes características.

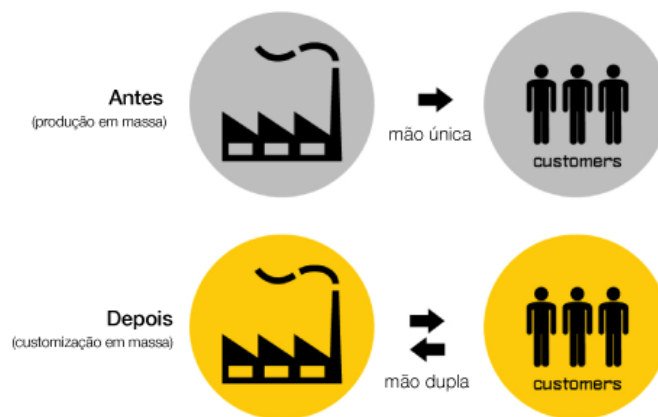


Figura 13 - Alteração do fluxo de informação em diferentes tecnologias produtivas

Fonte: extraída de <https://analistamodelosdenegocios.com.br/modelo-de-customizacao-em-massa/>

Na questão das técnicas de fabricação, em contraponto com a Manufatura Aditiva, a customização em massa pode utilizar duas formas de produção: a montagem de peças modulares ou pré-fabricadas; ou a diferenciação atrasada, onde um produto genérico é fabricado e, posteriormente, diferenciado em um produto final específico (ULRICH e EPPINGER, 2012).

Por outro lado, a Manufatura Aditiva faz uso de tecnologias aditivas e de *softwares* de CAD para produzir objetos, camada por camada, através da fusão de



diversos tipos de materiais tais como: resinas, polímeros, cerâmicas e superligas como níquel-cromo, cromo-cobalto, aço inoxidável e ligas de titânio.

Apesar de tudo, ambas tecnologias apresentam características econômicas similares, por exemplo, a não geração de subprodutos. Além disso, como ambas produzem suas peças apenas após a venda ser concretizada, elas minimizam riscos de estoques parados e auxiliam na gestão de capital de giro das empresas (BERMAN, 2012).

Por fim, devido à natureza das tecnologias e dos materiais utilizados, elas costumam ser utilizadas para distintas gamas de aplicações. A Manufatura Aditiva é usada na fabricação de maquetes, peças de reposição, próteses, apliques dentários e protótipos. Já a customização em massa é mais aplicada na produção de relógios, sapatos, vestuários, janelas e computadores (vide Tabela 2).

Tabela 2 - Comparação Manufatura Aditiva e Customização em massa

<b>Característica</b>	<b>Manufatura Aditiva</b>	<b>Customização em massa</b>
Tecnologia de manufatura	Manufatura automatizada baseada em <i>softwares</i> de CAD	Baseada em peças modulares ou pré-montadas em diferentes combinações e diferenciações atrasadas
Requerimentos de integração na cadeia de suprimentos	Utiliza suprimentos já disponíveis no mercado por diversos fornecedores	Necessidade de ampla integração da cadeia de suprimentos para garantir quantidade certa de peças em dado momento e de diversos fornecedores

Benefícios econômicos	Habilidade de produzir produtos customizados à preços baixos. Baixo risco de inventário e melhorias na gestão de capital de giro	Habilidade de produzir produtos customizados à preços baixos. Baixo risco de estoque e melhorias na gestão de capital de giro
Gama de produtos	Protótipos, peças de reposição, membros artificiais, coroas dentárias e maquetes	Computadores, relógios, janelas, sapatos e vestuários

Fonte: adaptada de *3-D Printing: The new Industrial Revolution* (BERMAN, 2012)

### 3.3.2.2 Usinagem e tecnologias de subtração

As principais vantagens da Manufatura Aditiva em relação às tecnologias de subtração como a usinagem são a maior velocidade de produção e a rentabilidade em pequenos lotes, pois a Manufatura Aditiva requer baixos custos fixos com equipamentos e infraestrutura.

Por não necessitar de ferramentas caras como perfuradores e a infraestrutura necessária para se montar uma operação de usinagem, a impressão 3D é especialmente econômica na produção de pequenos lotes de produtos. Esse fato possibilita que empresas produzam, com boa rentabilidade, pedidos pequenos e personalizados, atendendo atraentes nichos de mercado (BERMAN, 2012).

Ainda em contraste a essas tecnologias tradicionais, a impressão 3D gera uma quantidade muito menor de resíduos de processamento. Isso se dá por ela ser uma tecnologia aditiva e não de subtração, ou seja, a produção se dá pela progressiva adição de material ao produto (no caso, camada a camada) e não pelo desgaste ou fresagem, como na usinagem.

Complementar a isso, mais de 90% do material residual pode ser reciclado ao se utilizar a Manufatura Aditiva a laser. No entanto, ao contrário de muitas tecnologias tradicionais que necessitam de grande infraestrutura, ao se aumentar a quantidade

de produto produzido pela Manufatura Aditiva os custos variáveis destes não são reduzidos. Ou seja, essa tecnologia não apresenta economias de escala (PETROVIC e colab., 2011).

No quesito tempo de produção (em pequenos lotes) pode-se, inicialmente, acreditar que técnicas como a usinagem são mais velozes do que a impressão 3D. No entanto, vale ressaltar que, para produção de uma peça por usinagem, é necessária uma peça inicial que, então, será desgastada para a obtenção do produto final.

Levando-se em consideração o tempo de produção dessa peça inicial e o tempo de transporte dela até o equipamento de usinagem (esta pode ser produzida por um fornecedor externo e não internamente), conclui-se que a Manufatura Aditiva a laser apresenta um tempo total de processamento para pequenos lotes mais enxuto do que essas tecnologias tradicionais mencionadas.

No entanto, quando se trata da produção de grandes lotes, a Manufatura Aditiva não é a melhor opção de método de produção. Isso se dá pelo fato de ela não apresentar economias de escala, tanto no quesito financeiro, como no de tempo de produção. Ou seja, ao se produzir um número muito grande de peças, a MA não apresenta nenhuma redução no tempo de produção unitário da peça.

Por fim, a Tabela 3 apresenta as principais características da Manufatura Aditiva a laser em comparação à outras tecnologias, assim como as principais limitações e barreiras que essa deve superar para se tornar mais difundida nos meios de produção.

Tabela 3 - Características da Manufatura Aditiva

<b>Vantagens da Manufatura Aditiva em comparação com outras tecnologias</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Consegue viabilidade econômica na produção de peças customizadas em pequenos lotes como se produção em massa fosse utilizada. Fontes da boa rentabilidade incluem:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Não necessidade de ferramentas, moldes ou perfuradores dispendiosos</li><li>○ Sem requisitos de sucata, fresagem ou desgaste</li></ul></li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fabricação automatizada</li> <li>○ Uso de suprimentos prontamente disponíveis</li> <li>○ Capacidade de reciclar resíduos</li> <li>○ Risco mínimo de estoque</li> <li>○ Gerenciamento aprimorado de capital de giro</li> <li>• Capacidade de compartilhar facilmente projetos e designs e de terceirizar a fabricação</li> <li>• Velocidade e facilidade de design e modificação de produtos</li> </ul>
<p><b>Aplicações importantes da Manufatura Aditiva</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequenos lotes de produção <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Produtos personalizados</li> <li>○ Protótipos</li> <li>○ Peças de reposição</li> <li>○ Aplicações médicas e odontológicas</li> </ul> </li> <li>• Médios lotes de produção <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fabricação de pontes</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Limitações atuais da Manufatura Aditiva</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos mais altos para grandes produções em relação a outras tecnologias mais tradicionais</li> <li>• Escolha reduzida para materiais, cores e acabamentos de superfície</li> <li>• Menor precisão em relação a outras tecnologias</li> <li>• Limitações de resistência ao calor e à umidade e a estabilidade da cor</li> </ul>

Fonte: adaptada de *3-D Printing: The new Industrial Revolution* (BERMAN, 2012)

### 3.3.2.3 Fundição

A tecnologia de fundição é um dos mais antigos métodos de produção já criados e, em grande parte, os seus princípios se mantem inalterados até hoje. Inicialmente, a fundição e a Manufatura Aditiva são tecnologias drasticamente diferentes. No entanto, é possível se encontrar diversas similaridades nas peças produzidas por cada método (VEVERS e colab., 2018).

Exemplos dessas similaridades são: textura superficial, possibilidade de produção de canais internos complexos e precisão dimensional. Ainda assim, existem diferenças significativas entre os métodos de produção que precisam ser analisados para uma boa comparação.

Uma grande desvantagem da fundição é o tempo necessário para se iniciar a produção de uma peça. Após o projeto em CAD 3D do produto desejado, é necessária a fabricação do molde onde será vazado o metal fundido. A confecção do molde não apenas consome tempo considerável como se trata de um processo complexo, com limitações dimensionais e, algumas vezes, com elevado custo.

Com relação às limitações dimensionais, é importante mencionar a complexa engenharia dos moldes. Estudos e simulações complexas devem ser feitos para garantir que não haja solidificações antes do término do vazamento. Por isso, e por outros fatores, utiliza-se diversos aparatos auxiliares de processamento, como resfriadores, machos e bacias de vazamento.

Além disso, há sempre a necessidade de um ou mais massalotes (reservas de metais previstas nos moldes para compensar a contração do material durante o resfriamento, ou seja, para garantir o completo preenchimento da cavidade do molde). Essas reservas de metais cuja função, entre outras, é de prevenir rechupes, geram ineficiências na produção devido ao excesso de metal fundido necessário.

Ao se comparar com a Manufatura Aditiva, na qual após o desenvolvimento do CAD 3D da peça desejada é possível se iniciar a produção imediatamente, a MA apresenta significativas vantagens com relação ao tempo de produção.

Contudo, essa vantagem novamente é apenas observada na produção de pequenos lotes. Isso pois, a fundição é uma tecnologia que se beneficia intensamente de economias de escalas. Por exemplo, dependendo das dimensões do produto, pode-se produzir múltiplas peças em um único molde. Além disso, pode-se fabricar, com boa velocidade, um grande número de moldes. Ambos exemplos reduzem significativamente o tempo de produção unitário da peça.

Em relação ao custo de produção, observa-se um padrão semelhante ao que se tem no tempo de produção. Devido às complicações de produção do molde e de infraestrutura necessária, a fundição apresenta um custo fixo inicial muito elevado. Em contraponto, esta tecnologia possui um custo unitário de produção (custo variável)

relativamente baixo (no caso de grandes lotes de produção), principalmente ao se comparar com a Manufatura Aditiva.

Portanto, a Manufatura Aditiva apresenta grandes possibilidades de substituição da tecnologia da fundição, porém, apenas quando se trata da produção em pequenas escalas ou em alguns nichos de mercado.

Se o objetivo é a produção de diversos modelos com pequenas alterações entre si, a MA é ideal pois não será necessária a produção de moldes distintos. Apenas seria necessária a alteração do arquivo CAD 3D da peça. No entanto, se o objetivo é a produção rápida e em massa, a fundição ainda apresenta vantagens significativas de custo e tempo de produção.

### **3.3.3 Os impactos da Manufatura Aditiva**

Segundo Schumpeter, as tecnologias disruptivas são as precursoras do que ele chama de destruição criativa e estão associadas às inovações que interrompem mercados por reconfigurarem as regras do jogo e seu impacto nos mercados existentes em que elas atuam (SCHUMPETER, 1942).

As chamadas “ondas de Schumpeter” (SCHUMPETER, 1934) são novos ciclos de desenvolvimento econômico e são iniciadas por novas tecnologias que rompem ou melhoram o estado econômico do mundo através de inovações por elas geradas. Atualmente, essas ondas estão surgindo em intervalos de tempo cada vez menor (vide Figura 14).



Figura 14 - Ondas de Schumpeter

Fonte: extraída de <https://www.infomoney.com.br/colunistas/terraeco-economico/schumpeter-inovacao-destruicao-criadora-e-desenvolvimento/>

Um bom exemplo de uma dessas ondas foi a revolução industrial, que muitas vezes é chamada de primeira onda Schumpeteriana. Ela alterou o processo de fabricação e os modelos de negócios associados e permitiu, tanto à empreendedores de pequeno e médio porte como à grandes corporações, produzirem itens com um custo muito menor e se aproveitando das vantagens da economia de escala (PETRICK e SIMPSON, 2013).

Atualmente, novas tecnologias potencialmente disruptivas como a Manufatura Aditiva, inteligência artificial, Internet das coisas (ou *Internet of things*, IoT), nano tecnologias e biofarmaceuticos estão se unindo para formar a base de um novo ciclo Schumpeteriano. De forma geral, toda a indústria 4.0 pode se beneficiar da implementação da Manufatura Aditiva ou de componentes por ela fabricados (AHLUWALIA e MAHTO, 2018).

Não apenas a IoT tem um futuro brilhante, mas já forma a base de algumas das maiores empresas do mundo em termos de capitalização de mercado, as quais

operam exclusivamente na Internet (por exemplo, Amazon, Facebook, Google e Ebay) (GUBBI e colab., 2013).

A destruição criativa fruto da natureza disruptiva das tecnologias associadas à Internet está reconfigurando o mercado e deixando algumas das antigas corporações tradicionais dominantes à beira da obsolescência, por exemplo o K-Markt e a Sears (AHLUWALIA e MAHTO, 2018).

A Manufatura Aditiva, surgiu com um enorme potencial para revolucionar as indústrias de manufatura tradicionais. Ao contrário da IoT que é uma infraestrutura baseada em serviços, a MA tem sido considerada uma tecnologia transformadora (KARLGAARD, 2011).

Não apenas sozinha, mas em combinação com outras tecnologias inovadoras e disruptivas a MA tem o potencial para propulsionar uma nova grande revolução industrial, pois, apresenta o potencial para democratizar o processo de fabricação pela inclusão de uma nova interface financeira e uma clientela mais ativa (DIAMANDIS, 2012).

O potencial disruptivo da MA em indústrias de manufatura e infraestruturas já existentes tem sido reconhecido por acadêmicos, profissionais da indústria, políticos e diversas outras partes interessadas (AHLUWALIA e MAHTO, 2018). Intelectuais de diferentes disciplinas já começaram a mapear os potenciais desta tecnologia em muitos setores da economia, especialmente no setor manufatureiro tradicional (JONG e BRUIJN, 2013).

Este setor, atualmente, ainda se baseia em princípios de produção em massa e em economias de escala, onde, em geral, é muito custosa a fabricação de um protótipo ou a produção de itens em pequenas quantidades. O custo excessivo de modificar produtos ou técnicas de manufatura associadas à produção em massa limita a capacidade dos fabricantes de personalizar esses produtos de acordo com as



especificações e os gostos de cada cliente devido à ineficiência operacional (KOTEN, 2013).

Outro exemplo revolucionário de aplicação da Manufatura Aditiva a laser é a impressão 3D de tecidos orgânicos. Atualmente já foram produzidas, além de próteses metálicas, próteses feitas com células de ossos e cartilagens que possuem alta compatibilidade com o corpo humano, vide Figura 15.



Figura 15 - Dentes produzidos por impressão 3D

Fonte: extraída de <https://3dcmcd.com.br/dentados-eua-terao-dentaduras-feitas-a-partir-de-impressora-3d/>

Por fim, o modelo tradicional que exige um alto investimento inicial em maquinário e equipamentos de fabricação cria uma alta barreira de entrada para pequenas empresas e *startups* que desejem iniciar operações. Isso limita muito a capacidade dessas organizações de competirem com grandes empresas e corporações, limitando assim a concorrência no mercado e aumentando os custos finais para os consumidores. É exatamente este paradigma que a MA está desafiando, permitindo um novo advento da pequena e média empresa de manufatura (BERMAN, 2012).

#### 4. COMENTÁRIOS

Com melhor conhecimento sobre a tecnologia da Manufatura Aditiva decorrente da elaboração deste trabalho, é possível se fazer uma melhor análise das vantagens e desvantagens deste método de produção, das possíveis aplicações que este pode ter e, principalmente, dos impactos decorrentes de uma ampla difusão da tecnologia dentro do setor manufatureiro.

Inicialmente deve-se entender que a MA não é a solução de todos os problemas que a indústria enfrenta atualmente. Ativistas que preveem um futuro em que todos os produtos serão impressos em impressoras 3D em qualquer local estão enganados (pelo menos no médio prazo), devido, principalmente, às ainda grandes limitações que este método produtivo apresenta.

Estas principais limitações são: altos custos e tempo de produção unitários para grandes lotes; ainda pequena quantidade de materiais que podem ser utilizados; menor precisão dimensional quando comparada a outros métodos produtivos.

Atualmente o mercado gira em torno de economias de escala para produção em massa. O fato de muitas tecnologias terem seus custos e tempo de produção unitários muito reduzidos ao se expandir drasticamente a quantidade de produção ainda é extremamente importante para o setor de manufatura. Uma tecnologia que não apresenta economias de escala, como a Manufatura Aditiva, ainda deixa muito a desejar para que possa ser implementada em grandes produções.

Outro ponto relevante é a limitada quantidade de materiais que podem ser utilizados por impressoras 3D. Por mais que essa lista de materiais, (que atualmente inclui resinas, polímeros, cerâmicas e superligas de cromo, níquel e aço, entre outros materiais) esteja constantemente sendo expandida por meio de novos estudos e desenvolvimentos tecnológicos, ela ainda é relativamente restrita. Essa restrição limita fortemente as possibilidades de aplicações que esta tecnologia pode ter.

Por fim, a restrição de precisão dimensional que impressoras 3D ainda apresentam, principalmente quando comparadas a métodos produtivos já bem difundidos, limita ainda mais a gama de aplicações desta tecnologia.

Contudo, os últimos dois pontos limitantes apresentados podem ser considerados limitações temporárias já que novos estudos e desenvolvimentos estão constantemente atualizando a lista de materiais aplicáveis à MA, assim como melhorias tecnológicas estão tornando esta tecnologia cada vez mais precisa. Portanto, a única limitação possivelmente permanente é a falta de economias de escala, decorrente da natureza da tecnologia.

Apesar das limitações mencionadas, a Manufatura Aditiva terá, sim, um enorme impacto nos métodos de produção atualmente empregados. Esse impacto será, principalmente, em produções já existentes de pequenos lotes e na viabilização de novos modelos de negócios.

Uma vantagem já mencionada ao longo do trabalho é o incentivo à produção de pequenos lotes em território nacional e não mais a terceirização desse tipo de produção para países com salários inferiores. Isso se dá devido à menor necessidade de mão de obra na produção com impressoras 3D, minimizando os custos locais de produção e, por consequência, desincentivando a terceirização em outros países.

Essa mudança pode ser incrivelmente relevante dado que muitos países desenvolvidos já estão sofrendo desacelerações da produção industrial devido à perda de empregos consequente da terceirização. Ou seja, a Manufatura Aditiva pode provocar uma nova revolução produtiva/industrial em países já desenvolvidos que se encontram em uma trajetória industrial decadente.

Outra vantagem intrínseca da MA é a grande facilidade de customização de designs. Esse fato torna a produção de protótipos muito mais fácil, possivelmente levando a um aumento de investimentos em P&D de muitas empresas. No entanto, as consequências dessa facilidade são muito mais abrangentes do que apenas P&D. Com uma melhor interação do consumidor com os produtores, ditando suas

preferências e alterações de design, possivelmente os mercados que essa tecnologia abrangerá sejam muito extensos e atrativos.

Em linha com o acima mencionado, não apenas a facilidade de customização de designs é relevante, como também a facilidade de compartilhamento. Por exemplo, um designer europeu cria um aparelho que solucione algum problema ou demanda específica, mas não o faça de forma perfeita. Um segundo designer em outra região do planeta pode baixar essa solução *online*, ajustar alguns detalhes que melhorem a eficácia do produto e republicar o arquivo melhorado. Esse compartilhamento facilitado implica em possíveis interações, auxiliadas pela *internet*, que revolucionem ou aperfeiçoem determinados produtos.

Da visão de empresas e corporações, a Manufatura Aditiva também apresenta vantagens significativas. Assim como na customização em massa, a produção do pedido só é iniciada após a venda do mesmo ter sido concluída. Ou seja, as empresas não precisam se preocupar tanto com controle de estoques e de capital de giro, produzindo benefícios significativos para corporações se aventurarem nessa tecnologia.

Além disso, o baixo investimento inicial necessário, assim como custos fixos também baixos, torna esse método de produção ainda mais atraente. Também possibilitam que a tecnologia possa ser mais amplamente empregada por organizações de pequeno e médio porte.

Um importante ponto que deve ser levantado é a empregabilidade da Manufatura Aditiva na fabricação de componentes para manutenção. Devido à sua flexibilidade de design, componentes necessários para realizar o conserto de, por exemplo, tubulações e máquinas, podem ser facilmente produzidos.

Outro fator de compatibilidade da MA no segmento mencionado é a não necessidade de economias de escala. Em obras de manutenção ou na produção de peças de reposição, não é necessária a produção de grandes lotes de componentes e, portanto, métodos produtivos que se beneficiem de economias de escala não são necessários. Com isso, um dos mercados no qual a Manufatura Aditiva pode ter um maior impacto é, exatamente, no de peças de reposição e manutenção.

Por fim, conclui-se que a Manufatura Aditiva apresenta enormes possibilidades, em determinados casos, de substituição de outros métodos de produção e de criação de novos modelos de negócios. Assim como, devido à algumas das suas vantagens, pode vir a ser uma tecnologia extremamente difundida no mercado.

Como já se observa atualmente, quanto mais pessoas e empresas estão interessadas e tem acesso à novas tecnologias, mais estas se desenvolvem, se barateiam e resultam em revoluções industriais. Esse é o potencial que a Manufatura Aditiva pode ter no setor manufatureiro global.

## 5. BIBLIOGRAFIA

ABGI. **A inovação: definição, conceitos e exemplos**. Disponível em: <<http://brasil.abgi-group.com/a-inovacao/>>.

AHLUWALIA, Saurabh e MAHTO, Raj V. **Additive manufacturing based innovation , small firms , customer involvement and crowd-funding: from co-creation to co-financing**. *Translational Materials Research*, v. 5, n. 2, 2018. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1613/aac4f9>>.

ALBERTI, Eduardo André e SILVA, Leandro João Da e D'OLIVEIRA, Ana Sofia C. M. **Manufatura Aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade**. 2014. 190–198 f. 2014.

ALPERN, Peter. **Beam me up a part, Scotty**. *Industry Week*, v. 259, n. 2, p. 46–48, 2010.

BERMAN, Barry. **3-D printing : The new industrial revolution**. *Kelley School of Business*, v. 55, n. 2, p. 155–162, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>>.

BOURELL, David L. e LEU, Ming C. e ROSEN, David W. **Roadmap of Additive Manufacturing - Identifying the Future of Freeform Processing**. Austin, TX: The university of Texas at Austin; Laboratory for Freeform Fabrication; Advanced Manufacturing Center, 2009.

BRANDI, Sd e WAINER, E e MELLO, Fdh De. **Soldagem: processos e metalurgia**. [S.l: s.n.], 1992.

COOPER, Robert G. e EDGETT, Scott J. **Portfolio Management for New Products**. Product Development Institute, n. January 2001, p. 1–12, 2002.

CRAWFORD, C. Merle e BENEDETTO, C. Anthony Di. **New Products Management**. Irwin, IL: Homewood, 1987.

DIAMANDIS, Peter H. **Abundance : The Future Is Better Than You Think**. .

[S.I.]: New York: Free Press. , 2012

FINDIK, Fehim. **Recent developments in explosive welding**. Materials and Design, v. 32, p. 1081–1093, 2010.

GIBSON, Ian e ROSEN, David W e STUCKER, Brent. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping, and Direct digital manufacturing**. New York: Springer, 2010.

GRAND VIEW RESEARCH. **Welding Products Market**. . San Francisco, CA: [s.n.], 2016.

GUBBI, Jayavardhana e colab. **Internet of Things ( IoT ): A vision , architectural elements, and future directions**. Future Generation Computer Systems, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>>.

IBM GLOBAL BUSINESS SERVICES. **Paths to success: Three ways to innovate your business model**. . Somers, NY: IBM Global Services. Disponível em: <<https://www.ibm.com/downloads/cas/AQK1GQEX>>. , 2009

JONG, Jeroen P.J. De e BRUIJN, Erik De. **Innovation Lessons From 3-D Printing**. MIT Sloan Management Review, n. 54, p. 43, 2013.

KAHN, Kenneth B. **Understanding Innovation**. p. 8, 2018. Disponível em: <[http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/milreview/williams\\_innovation.pdf%0Ahttp://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/e-tutu/Documents/eTutu\\_2009-9.pdf](http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/milreview/williams_innovation.pdf%0Ahttp://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/e-tutu/Documents/eTutu_2009-9.pdf)>.

KARLGAARD, Rich. **3D Printing Will Revive American Manufacturing**. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/richkarlgaard/2011/06/23/3d-printing-will-revive-american-manufacturing/>>. Acesso em: 28 jun 2019.

KOTEN, John. **A Revolution in the Making**. The Wallstreet Journal, v. 11, p. R1, 2013.

MARKET.US. **Global Welding Equipment Market 2019 M A R K E T . U S .** .

[S.l: s.n.], 2019.

MERRIAM-WEBSTER. **Innovation**. Disponível em: <<https://www.merriam-webster.com/dictionary/innovation>>.

O'BRYAN, Michael. **Innovation: The most important and overused word in America**. Disponível em: <<https://www.wired.com/insights/2013/11/innovation-the-most-important-and-overused-word-in-america/>>.

PETRICK, Irene J e SIMPSON, Timothy W. **3D Printing Disrupts Manufacturing - How Economies of One Create New Rules of Competition**. Res. Technol. Manage., v. 56, n. December, p. 12–16, 2013.

PETROVIC, Vojislav e colab. **Additive layered manufacturing: Sectors of industrial application shown through case studies**. International Journal of Production Research, v. 49, n. 4, p. 1061–1079, 2011.

**Print me a Stradivarius**. The Economist, v. February, p. 7, 2011.

SBCOACHING. **Inovação: O que é, Conceito e Exemplos**. Disponível em: <<https://www.sbcoaching.com.br/blog/inovacao/>>. Acesso em: 17 ago 2019.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalism, Socialism and Democracy**. [S.l: s.n.], 1942.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **The Theory of Economic Development : An Inquiry into Profits , Capital , Credit , Interest and the Business Cycle**. Journal OF COMPARATIVE RESEARCH IN ANTHROPOLOGY AND SOCIOLOGY OF COMPARATIVE RESEARCH IN ANTHROPOLOGY AND SOCIOLOGY, v. 3, n. 2, p. 137–148, 1934.

TOTAL MATÉRIA. **The Welding Industry and Its Future**. . [S.l.]: Total Materia. Disponível em: <<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=201>>. , 2007



ULRICH, Karl T. e EPPINGER, Steven D. **Product Design and Development**. Fifth ed. New York, NY: McGraw-Hill Irwin, 2012.

VEVERS, A. e colab. **Additive Manufacturing and Casting Technology Comparison: Mechanical Properties, Productivity and Cost Benchmark**. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, v. 55, n. 2, p. 56–63, 2018.

VIGNA, Claudio Marcos e MIYAKE, Dario Ikuo. **Capacitação das Operações Internas para a Customização em Massa: Estudos de Caso em Indústrias Brasileiras**. Produto & Produção, v. 10, n. 3, p. 29–44, 2009.