

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUAN DO CARMO ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DO CONCEITO DE INDÚSTRIA 4.0**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2018

LUAN DO CARMO ALMEIDA

## **AVALIAÇÃO DO CONCEITO DE INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Tomadon Júnior

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2018

## **LUAN DO CARMO ALMEIDA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 13 de Junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. José Tomadon Júnior

Professor Orientador

UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

---

Prof. Dr. Cleverson Flor da Rosa

Professor Convidado

UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

---

Prof. Carlos De Nardi

Professor Convidado

UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família pela compreensão dada nos dias de ausência, pelo amor e pelo apoio incondicional.

À minha companheira Ellen, pelo carinho e dedicação.

Ao corpo docente do curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Cornélio Procopio. Em especial ao Prof. José Tomadon Junior pelo apoio, dedicação e oportunidade dados, para a realização deste trabalho.

E a todos que participaram direta e indiretamente deste trabalho.

"A melhor maneira de prever o futuro é inventá-lo."

(Alan Kay)

## RESUMO

ALMEIDA, Luan do Carmo. Título do trabalho: **Avaliação do conceito de indústria 4.0**. 2018. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

A indústria passou por diversas transformações ao longo da história e estamos prestes a encarar uma nova revolução industrial. O presente trabalho trata do conceito da Indústria 4.0, considerando suas principais características e seus alicerces básicos. Através da ferramenta de Revisão Bibliográfica Sistemática foram colhidas referências do trabalho afim de delimitar o conceito de indústria 4.0. Inerente a natureza do conceito, definiu-se ferramentas à indústria 4.0, que constituem seus alicerces básicos: Sistemas inteligentes, interface homem-máquina, transferência digital para física e *big data*.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; RBS; *Big Data*; Sistemas inteligentes; Interface homem-máquina; Transferência digital para física.

## ABSTRACT

Almeida, Luan do Carmo. Title of the working: **Appraisal of the industry 4.0 concept**. 2018. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

The industry has experienced many transformations throughout history, and we are about to face a new industrial revolution. The present work deals with the concept of Industry 4.0, considering its fundamental characteristics and its essential foundations. Through the Systematic Bibliographic Review tool, references were taken to delimit the concept of industry 4.0. Inherent in the nature of the concept, tools have been defined for industry 4.0, which establish its necessary foundations: Intelligent systems, human-machine interface, the cyber-physical systems and big data.

**Keywords:** Industry 4.0; RBS; Big data; Intelligent systems; Human-machine interface; Cyber-physical systems

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Revoluções Industriais de acordo com o grau de complexidade .....	14
Figura 2 - Fases da RBS .....	19
Figura 3 - RBS Roadmap .....	20
Figura 4 - Pesquisa para a String Service 4.0 .....	25
Figura 5 - Fluxograma inicial de pesquisa .....	27
Figura 6 - Modelo de Referência para Sistemas Inteligentes .....	37
Figura 7 - Modelo de Interface Homem-máquina .....	40
Figura 8 - Tecnologias Associadas à Prototipagem Rápida .....	42
Figura 9 - Modelo de Sólido 3-D Convertido para Representação STL .....	43
Figura 10 - Modelo de Arquivo STL com suas Respectiveas Camadas de Construção Aditivas.....	44
Figura 11 - Estimativa do crescimento de todos os dados online até 2020.....	46



## LISTA DE SIGLAS

CPU	Unidade Central de Processamento
IA	Inteligência Artificial
IHM	Interface Homem-máquina
LED	Diodo Emissor de Luz
PDA	Assistente Pessoal Digital e/ou Computador de Mão
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
SCADA	Sistemas de Supervisão de Aquisição de Dados
PDA	Assistente Pessoal Digital e/ou computadores de mão
TCP/IP	Protocolo de Controle de Transmissão/ Protocolo de Internet
TFT	Display de cristal líquido baseado em transistores de película fina ( <i>thin film transistor liquid crystal display</i> )
TI	Conjunto de todas as atividades e soluções providas por recursos de computação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	10
1.1. <b>Justificativa</b>	11
1.2. <b>Objetivo geral</b>	12
1.3. <b>Objetivos específicos</b>	12
<b>2. EMBASAMENTO TEÓRICO</b>	13
2.1. <b>Primeira Revolução Industrial</b>	15
2.2. <b>Segunda Revolução Industrial</b>	16
2.3. <b>Terceira Revolução Industrial</b>	17
2.4. <b>Revisão Bibliográfica Sistemática</b>	18
2.4.1. Entrada	20
2.4.2. Processamento	22
2.4.3. Saída	22
<b>3. METODOLOGIA</b>	23
3.1. <b>Entrada de dados na RBS</b>	23
3.1.1. Fontes Primárias	24
3.1.2. Strings de busca	24
3.1.3. Filtros adotados	26
3.2. <b>Processamento de informação</b>	26
3.2.1. Plataforma Science Direct	26
3.2.2. Plataforma Scielo	27
3.3. <b>Análise de Resultados</b>	28
3.4. <b>Saída de dados da RBS</b>	30
3.4.1. Cadastro e Arquivo	30
<b>4. RESULTADOS</b>	31
4.1. <b>Industria 4.0</b>	31
4.1.1. Sistemas Inteligentes	36
4.1.2. Interfaces homem-máquina	39
4.1.3. Transferência digital para física	40
4.1.4. Big Data	45
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	47
<b>REFERÊNCIAS</b>	48

## 1. INTRODUÇÃO

Para Coelho (2016), desde a primeira revolução industrial, o desenvolvimento tecnológico impacta a maneira que produzimos, consumimos e nos comunicamos. A globalização da indústria mudou os negócios internacionais e a maneira como são conduzidos. Em particular, os avanços em transportes e telecomunicações tiveram um enorme impacto. Com o crescente comércio e comunicação, mais e mais empresas estão ampliando seu alcance em terra e mar.

Ainda segundo Coelho (2016), a cadeia de fornecimento de fabricação moderna é centrada em torno da globalização. Todos os dias, os produtos são movidos por todo o mundo em linhas de transporte marítimo, rodoviários e por via aérea. As atividades comerciais, incluindo a terceirização de logística, gerenciamento de instalações, serviços profissionais e manutenção podem ser considerados processos internacionais.

Com cada grande mudança industrial e tecnológica, as características da globalização foram alteradas. Para Monostori (2014), este termo, Indústria 4.0, desloca o processo de produção para longe das tecnologias analógicas e mecânicas e vai de encontro a todas as tecnologias digitais.

À medida que a tecnologia da informação (TI) e a tecnologia operacional (OT) convergem, as empresas estão começando a encontrar novas formas de se conectar. Os dados coletados de fornecedores, clientes e empresas podem ser alinhados com informações de produção detalhadas, o que significa que os processos podem ser ajustados em tempo real. Os mundos digital e físico tornaram-se irrevogavelmente ligados com máquinas, sistemas e pessoas capazes de trocar informações e se ajustar automaticamente. A Indústria 4.0 não está apenas revolucionando os processos de fabricação, mas também tem um impacto poderoso no modelo da globalização, alterando a força de trabalho e aumentando a facilidade de acesso aos serviços.

## 1.1. Justificativa

A importância deste estudo se justifica pelo fato de que o termo Indústria 4.0 é abrangente e vem ganhando nível significativo de importância a nível mundial. Sendo assim, as organizações que ainda não possuem processos que envolvam o conceito de indústria 4.0, precisam estar cientes da necessidade atual. Gestores e administradores precisam ter em mente métodos viáveis e eficazes de gestão de recursos para aplicar em suas organizações, objetivando um maior controle dos seus processos de produção.

Atualmente, congressos e seminários voltados à administração trazem novidades sobre o tema da questão do aumento produtivo, é importante lembrar que os profissionais da engenharia têm a responsabilidade de levar às organizações novas ideias e novas formas de agir, integrando um pensamento técnico ao ambiente empresarial, que além de proporcionar melhorias à empresa em meio a um mercado tão exigente e competitivo, contribui com a comunidade e com os consumidores que hoje exigem, na hora de comprar produtos ou contratar serviços, produtos de qualidade superior.

O estudo possibilita identificar em nossa sociedade, ações de gestão empresarial voltadas ao conceito de indústria 4.0. A partir da identificação e análise qualitativa destas medidas de implementação da indústria 4.0.

Conhecendo este conceito de indústria 4.0, o profissional de engenharia será capaz de uma maior capacidade analítica e atuação rápida. Podendo assim, desenvolver suas competências voltadas à inovação e gestão de pessoas de uma forma mais consciente e integrada aos objetivos do mercado mundial e em relação ao desenvolvimento da indústria e, conseqüentemente propiciando um crescimento profissional de sucesso.

Contribuindo ainda, para o enriquecimento científico, proporcionando material para base de estudos futuros, sendo possível aplicação do estudo em empresas de diversos segmentos. Além disso, contribuindo para a formação acadêmica do pesquisador que tem o primeiro contato com a pesquisa científica.

## **1.2. Objetivo geral**

Delinear o conceito de indústria 4.0, a nova revolução industrial em curso, através da revisão bibliográfica sistemática.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Identificar os conceitos e definições propostos para Indústria 4.0;
- Construir uma definição de Indústria 4.0 a partir das concepções dos autores estudados;
- Identificar os princípios da indústria 4.0;
- Identificar as tecnologias e ferramentas que irão subsidiar a efetivação da indústria 4.0.

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO

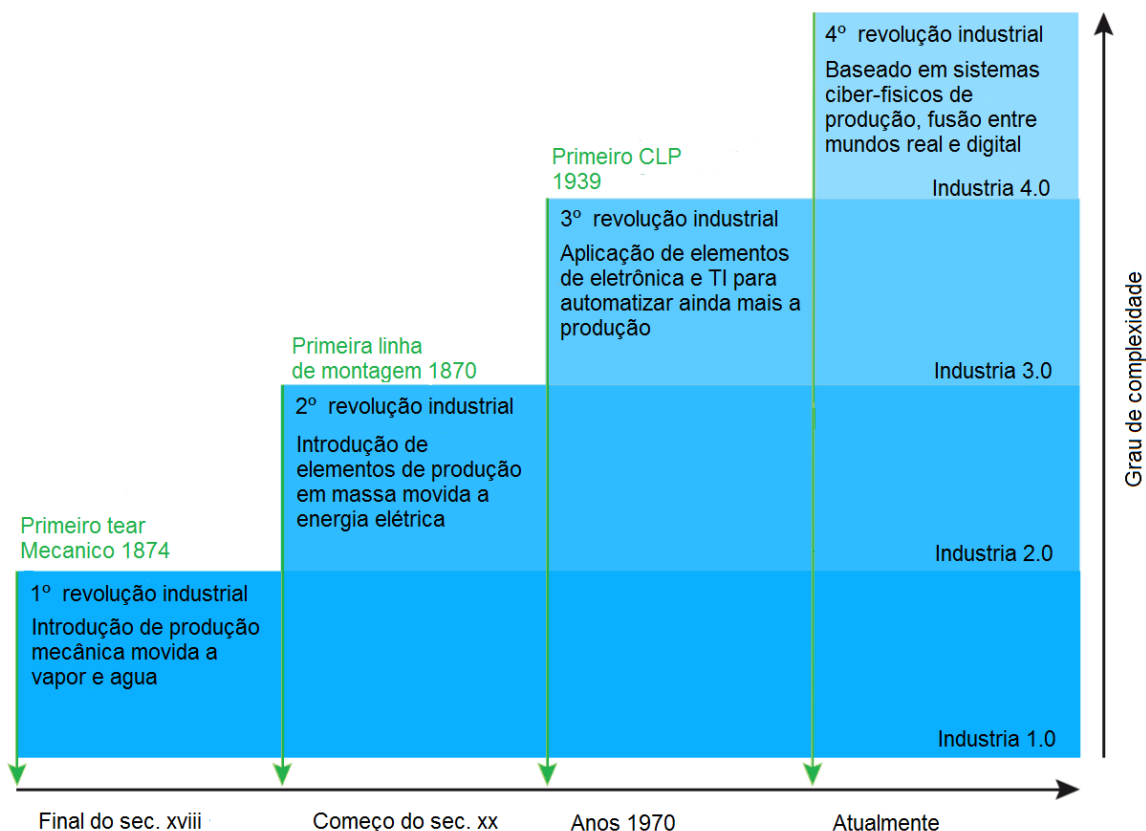
O mundo como nós conhecemos hoje, segundo Brettel (2014), foi moldado por três grandes revoluções tecnológicas. A primeira Revolução Industrial, começando na Grã-Bretanha na segunda metade do século 18 e terminando em meados do século 19, representou uma mudança radical na sociedade onde observamos certo distanciamento de uma economia agrária para uma economia definida pela introdução de métodos de produção mecânica, como a máquina a vapor.

O segundo período de transformação radical, consistiu no advento da produção industrial e do nascimento da produção fabril caracterizado pelo uso da energia elétrica e pela divisão do trabalho no início do século 20; inaugurando uma nova era de produtos de consumo a preços acessíveis e qualidade uniforme para o consumo.

O terceiro período de transformação se dá ao final da década de 1960 com o uso da eletrônica e TI em processos industriais, marca o início da utilização de controles lógicos programáveis, abrindo uma porta para um novo conceito de produção otimizado e automatizado.

Hoje estamos à beira de uma quarta revolução industrial, como observado na figura 4, uma revolução que promete casar os mundos da produção e da conectividade de rede em uma "Internet das coisas" e que torna realidade o termo indústria 4.0. A "produção inteligente" se torna a norma em um mundo onde máquinas inteligentes, sistemas e as redes são capazes, de forma independente, trocar e responder à informação para gerir processos de produção industrial (SCHLAEPFER et al., 2015).

**Figura 1 - Revoluções Industriais de acordo com o grau de complexidade**



**Fonte: SCHLAEPFER et al, (2015)**

Nesta transformação industrial, sensores, máquinas, peças de trabalho e sistemas de TI estarão conectados ao longo da cadeia de valor em uma única empresa. Estes sistemas conectados - também conhecidos como sistemas ciber-físicos, interagem entre si usando protocolos TCP/IP e analisam dados para prever falha, se configuram e se adaptam às mudanças. Segundo Rüßmann (2015), a indústria 4.0 permitirá coletar e analisar dados entre máquinas, permitindo resposta mais rápida e eficiente nos processos de produção, resultando em bens de qualidade superior a custos reduzidos. Isso, por sua vez, aumentará produtividade, irá fomentar o crescimento industrial e modificará o perfil da força de trabalho industrial, em última instância, a implantação da quarta revolução industrial trará uma mudança da competitividade das empresas e regiões.

## 2.1. Primeira Revolução Industrial

Em meio a um cenário de crises e transformações que fizeram parte dos séculos XVII e XVIII, o capitalismo se viu estimulado por razões econômicas, sociais e políticas, como a Revolução Inglesa de 1640 à 1660, e mais tarde, a Revolução Francesa. “Com o fim do absolutismo e a consolidação do liberalismo no campo político, o regime feudal que fez parte da história se encerrar dando lugar a novas práticas. A nova ordem e a criação do Estado Nacional deram espaço ao processo de industrialização, derrubando o mercantilismo, as corporações e o sistema feudal[...]” (RÉMOND, 1981).

Na segunda metade do século XVIII, os sistemas de transporte e de comunicação desencadearam as primeiras inovações com os primeiros barcos à vapor<sup>1</sup> e locomotiva<sup>2</sup>, revestimentos de pedras nas estradas<sup>3</sup>, telégrafos<sup>4</sup>. As primeiras iniciativas no campo da eletricidade como a descoberta da lei da corrente elétrica<sup>5</sup> e do eletromagnetismo<sup>6</sup>. As distâncias entre as pessoas, entre os países, entre os mercados se encurtou. Os contatos mais regulares e frequentes permitiram maior aproximação de mundos tão distintos como o europeu e o asiático. No setor têxtil a concorrência entre ingleses e franceses permitiu o aperfeiçoamento de teares.

Segundo Rémond (1981), duas consequências se destacam neste período.

Primeiro a diminuição da oferta de trabalhadores na indústria doméstica rural, no momento em que ganhava impulso o mercado, tornando-se indispensável adotar nova forma de produção capaz de satisfazê-lo;

E em segundo momento, o crescimento populacional nas grandes cidades, e com isso, o mercado consumidor também; sobrou mão-de-obra para os centros industriais. Já a população do campo começou a observar um declínio no número de habitantes.

---

<sup>1</sup> Inventado por Robert Fulton em 1807

<sup>2</sup> Inventado por Stephenson em 1814

<sup>3</sup> Inventado por McAdam em 1819

<sup>4</sup> Inventado por Morse em 1836

<sup>5</sup> Descoberta por Ohm em 1827

<sup>6</sup> Descoberto por Faraday em 1831



## 2.2. Segunda Revolução Industrial

A segunda fase da revolução industrial acontece entre a segunda metade do século XIX até a década de 1940, representou um aprimoramento científico e técnico da primeira revolução industrial. Foi um período de crescimento para indústrias pré-existentes e expansão de novas; como os campos de aço, petróleo e eletricidade. O desenvolvimento de novas tecnologias levou à introdução de duas coisas que mudariam o mundo: transporte público e aviões.

As invenções durante a Segunda Revolução Industrial foram interligadas. A ferrovia estimulou o crescimento da máquina de telégrafo. Linhas de telégrafo e linhas ferroviárias cresciam uniformemente e juntas. O telégrafo, e mais tarde o telefone, inaugurou a era da comunicação instantânea e provocou, nas palavras do historiador cultural Stephen Kern, "a aniquilação da distância". Esta foi uma mudança profunda para os americanos. O "local" disparou para fora, para o "nacional" e até mesmo "internacional", assim um novo senso de unidade mundial foi estabelecido através dessas novas tecnologias. Essas tecnologias também aumentaram o ritmo de vida e a forma como as pessoas trabalham e vivem.

Dentre as tantas tecnologias criadas, Rémond (1981) destaca:

- 1870 - Sinais automáticos, freios a ar e acopladores de junção nas ferrovias; o processo de obtenção dos primeiros aços nas usinas siderúrgicas; o telefone, a luz elétrica e a máquina de escrever.
- 1880 - O elevador e aço estrutural para edifícios, levando aos primeiros "arranha-céus".
- 1890 - O fonógrafo e as imagens em movimento; o gerador elétrico, contribuindo para itens domésticos modernos, como frigoríficos e máquinas de lavar roupa, e substituiu gradualmente os motores a água e a vapor; e o motor de combustão interna, que possibilitou os primeiros automóveis e o primeiro voo controlado de avião por Santos Dumont em 1906.

Segundo Rémond (1981), o crescimento econômico durante este período de tempo foi extraordinário, mas instável. A economia mundial passou por fortes depressões em 1873 e novamente em 1897. As empresas competiam intensamente umas com as outras e as corporações lutavam para ganhar o controle das indústrias. Inúmeras empresas

falharam e outras foram compradas por corporações maiores que acabaram governando o mercado.

### **2.3. Terceira Revolução Industrial**

O período que compreende o fim da Segunda Guerra Mundial até a crise do petróleo em 1973 representou a época de ouro para o capitalismo mundial, que cresceu sob a égide norte-americana. Esse processo proporcionou a expansão econômica com integração dos sistemas produtivos mundiais, amparados em um padrão tecnológico e produtivo relativamente estável, e com a relação capital-trabalho mediada e controlada pelo Estado e por um padrão de consumo que resultasse na venda da produção dos bens e serviços ofertados pelas empresas capitalistas.

Segundo Greenwood (1997), a partir da década de 1970 vemos um crescimento exponencial do uso de tecnologia digital e se destacam no mercado as atividades que estão vinculadas aos seguintes campos:

- **Computadores:** Com o advento de microprocessadores e circuitos integrados as CPUs atingiram patamares de bilhões de operações por segundo, permitindo muitas tarefas serem realizadas ao mesmo tempo. Com a redução de tamanho e preço destes componentes, o processo de popularização do computador foi iniciado
- **Softwares:** O código binário criado por Leibniz é um fator central de todos os softwares modernos e passou a ser fundamental desde sua criação. O EDVAC, CPU criada por John Von Neumann em 1945 e também o Mark I, da Universidade de Harvard, marcaram o início da era dos computadores modernos, capazes de armazenar programas.
- **Microeletrônica:** Inicialmente o seu desenvolvimento foi voltado para a construção de computadores e sistemas de telecomunicação. Os avanços dos novos sistemas computacionais e de telecomunicações levaram a um grande progresso em vários setores da economia. Os componentes utilizados na microeletrônica são construídos na escala de microns ou mesmo nanômetros,

tornando-se parte do ramo de nanotecnologia. A redução no tamanho dos componentes utilizados vem, ao longo da história, seguindo a Lei de Moore. O conjunto de componentes usados para um mesmo projeto é tipicamente chamado de circuito integrado (CI), ou ainda, "chip". Alguns exemplos de circuitos integrados são memórias de computadores, processadores, modems e conversores analógicos digitais. Como exemplo de aplicações da microeletrônica, pode ser dito que atualmente a mesma está presente em sistemas de automação industrial, nos serviços bancários e comerciais e bens de consumo, como eletrodomésticos e automóveis.

- Robótica: Através da proliferação e uso dos semicondutores, dos computadores e automação, a robotização em linhas de produção ocorreu de maneira paulatina e gradual. Esta automatização dos processos, hoje adaptada por muitas fábricas e indústrias, tem obtido, de modo geral, êxito em questões como redução de custos e aumento de produtividade.

Através da junção entre conhecimento científico e produção industrial, é possibilitada a aplicação de conhecimento técnico- científico em larga escala nos meios de produção originando assim produtos com alto valor agregado, mesmo que estes produtos tenham consumido baixa quantidade de matéria prima.

#### **2.4. Revisão Bibliográfica Sistemática**

A revisão bibliográfica sistemática é um método científico para busca e análise de artigos de uma determinada área da ciência. É amplamente utilizada em pesquisas na medicina, psicologia e ciências sociais, onde há grandes massas de dados e fontes de informações. Pesquisas na área de gestão de operações também necessitam analisar crescentes quantidades de artigos e informações. No entanto, técnicas de revisão sistemática são pouco difundidas nessa área, em especial em desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. A principal contribuição para a teoria e prática é a sistematização do procedimento para revisão sistemática voltado especificamente para pesquisas na área de desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos, que pode ser utilizado como referência para pesquisadores nessa área.

Segundo Conforto (2011) a Revisão bibliográfica sistemática é dividida em três fases distintas. Entrada; Processamento; e Saída. Na fase *Entrada* estão as informações preliminares que serão processadas, por exemplo: artigos clássicos na área de estudo, livros-texto que compilam conhecimentos na área, artigos de referência indicados por especialistas. Também inclui o plano de como será conduzida a RBS, ou seja, o protocolo da RBS. Trata-se de um documento que descreve o processo, técnicas e ferramentas que serão utilizadas durante a fase 2, de *Processamento*, que irá gerar a *Saída*, relatórios, síntese dos resultados, etc. A Figura 2 ilustra as três fases de uma RBS.

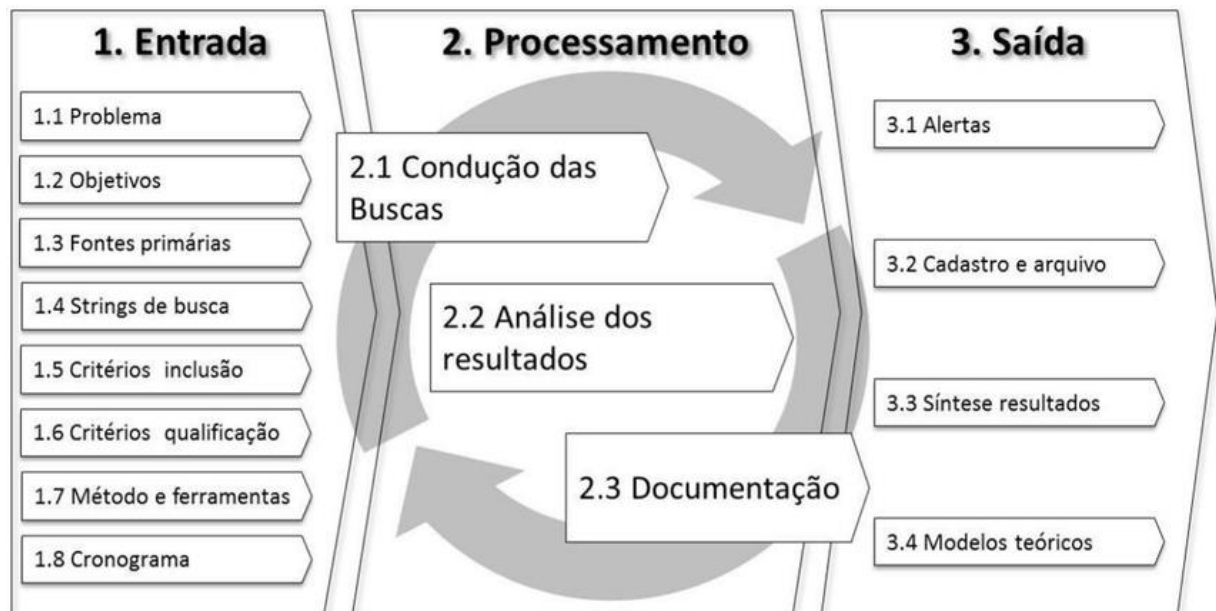


**Fonte: Conforto et al, (2011).**

Conforto (2011), reforça a necessidade de realizar a RBS em ciclos conforme apresentado na figura. À medida que o conhecimento sobre o assunto aumenta, os ciclos são realizados de modo mais eficiente. Esse ciclo é repetido quantas vezes forem necessárias até que os objetivos da pesquisa bibliográfica sejam alcançados.

O RBS Roadmap, roteiro em que se é organizado o método, é dividido em fases e etapas. Possui 15 etapas distribuídas em 3 fases (Entrada, Processamento e Saída), (CONFORTO et al. 2011, p. 06). A figura 3 exhibe este roteiro preconizado pela RBS.

Figura 3 - RBS Roadmap



Fonte: CONFORTO et al. (2011)

Cada uma das subfases da RBS é apresentada a seguir;

#### 2.4.1. Entrada

- Etapa 1.1 Problema: a definição do problema é o ponto de partida da revisão bibliográfica sistemática. Busca-se responder uma ou mais perguntas com a revisão bibliográfica. Segundo Gil (2007), um problema deve ser formulado na forma de pergunta, ser claro, ser empírico, suscetível de solução e delimitado a uma dimensão viável.
- Etapa 1.2 Objetivos: os objetivos da RBS devem estar alinhados com os objetivos do projeto de pesquisa. Também devem ter clareza e serem factíveis. É importante ter rigor na definição dos objetivos, uma vez que eles serão a base para a análise dos artigos encontrados nas buscas.
- Etapa 1.3 Fontes primárias: as fontes primárias constituem-se de artigos, periódicos ou bases de dados que serão úteis para a definição de palavras-chave,

e identificação dos principais autores e artigos relevantes. É importante consultar especialistas e pesquisadores seniores na área que se pretende fazer uma RBS, para a indicação de artigos clássicos e periódicos relevantes para a área de estudo.

- Etapa 1.4 *Strings* de busca: Para criar a *String* de busca é necessário identificar as palavras e termos referente ao tema de pesquisa. Isso pode ser feito a partir do estudo preliminar das fontes (artigos) e também por consulta a especialistas e pesquisadores. A partir daí é preciso compreender as regras para se criar *Strings* de Busca utilizando operadores lógicos comumente aplicados em buscas avançadas ou buscas booleanas.
- Etapa 1.5 Critérios de inclusão: para a definição dos critérios de inclusão dos artigos é preciso levar em conta os objetivos da pesquisa. Por exemplo, se a revisão busca identificar casos de aplicação de uma determinada prática de gestão, os artigos necessariamente deverão conter estudos de caso ou pesquisa-ação.
- Etapa 1.6 Critérios de classificação: o uso de critérios de qualificação dos artigos é especialmente útil para avaliar a importância do artigo para o estudo. É preciso observar elementos do artigo tais como: método de pesquisa utilizado, a quantidade de citações do artigo, o fator de impacto da revista que o artigo foi publicado, dentre outros.
- Etapa 1.7 Métodos e ferramentas: a definição do método de busca e ferramentas envolve definir as etapas para a condução das buscas, definir os filtros de busca, como será realizado a busca nos periódicos e bases de dados, como os resultados serão armazenados.
- Etapa 1.8 Cronograma: Definir o cronograma para realização da RBS bem como equipamentos, planejar compra de softwares e definir parcerias. É preciso estar atento para o prazo máximo viável para a condução da RBS. Dependendo dos objetivos, a RBS pode ter uma duração de 3, 6 ou até 12 meses, desde o planejamento até a conclusão.

#### 2.4.2. Processamento

- Etapa 2.1 Condução de buscas: são realizadas buscas e compreende as buscas por periódicos, buscas cruzada e buscas por base de dados.
- Etapa 2.2 Análise de resultados: é realizada a leitura e análise dos resultados, ou seja, através dos filtros pré-determinados ocorre a contração da busca inicial.
- Etapa 2.3 Documentação: é realizada a leitura e análise dos resultados, ou seja, catalogação dos resultados.

#### 2.4.3. Saída

- Etapa 3.1 Alertas: Consiste na inserção de “alertas” nos principais periódicos identificados durante a condução da RBS. Ao final da RBS, as informações contidas nas plataformas de pesquisa utilizadas são úteis para priorizar os artigos e conseqüentemente identificar os principais periódicos para a área de estudo.
- Etapa 3.2 Cadastro e arquivo: os artigos que foram selecionados através dos filtros de pesquisa, e foram analisados e interpretados podem ser incluídos no repositório de artigos da pesquisa.
- Etapa 3.3 Síntese resultados: nessa etapa elabora-se um relatório que será uma síntese da bibliografia estudada. Trata-se de um texto sobre o assunto estudado que poderá assumir o formato de uma seção de revisão bibliográfica que posteriormente será inserida na tese ou dissertação.
- Etapa 3.4 Modelos teóricos: a construção de modelos teóricos e definição de hipóteses têm como embasamento os resultados da RBS, e a síntese do tema estudado. O modelo teórico é o resultado final da RBS.

### 3. METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem predominantemente de caráter exploratório quanto aos seus objetivos.

Quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental.

No que se refere ao método, o trabalho é fundamentado como Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS). Sobre esse conceito de análise Revisão Bibliográfica Sistemática, destaca-se que esta metodologia “É um método científico para busca e análise de artigos de uma determinada área da ciência. É amplamente utilizada em pesquisas na medicina, psicologia e ciências sociais, onde há grandes massas de dados e fontes de informações. Pesquisas na área de gestão de operações também necessitam analisar crescentes quantidades de artigos e informações. [...] O roteiro foi intitulado RBS *Roadmap* e foi criado a partir das melhores práticas preconizadas em áreas pioneiras nesse tipo revisão, [...]” (CONFORTO et al. 2011, p. 01). Além disso, esta abordagem de pesquisa deve ser realizada quando o pesquisador deseja obter melhor entendimento do comportamento de diversos fatores e elementos que influenciam sobre determinado fenômeno. A utilização de uma pesquisa de cunho quantitativo está relacionada à busca pelo entendimento e descrição dos fenômenos encontrados no ambiente do estudo científico.

#### 3.1. Entrada de dados na RBS

- Identificar os conceitos e definições propostos para Indústria 4.0;
- Construir uma definição de Indústria 4.0 a partir das concepções dos autores estudados;
- Identificar os princípios da indústria 4.0;
- Identificar as tecnologias e ferramentas que irão subsidiar a efetivação da indústria 4.0.



### 3.1.1. Fontes Primarias

Inicialmente foram usadas as seguintes fontes de pesquisa:

- CAPES Periodicos
- *Science direct*
- Enegep
- Conbrepro
- Scielo

Depois de todas as fontes recolhidas e através de uma análise preliminar, pode-se observar que o resultado obtido com as fontes de pesquisa era muito pequeno para a geração do trabalho ou não apresentava resultados relevantes muito diferentes entre si. A base de dados do Scienci direct é compartilhada com as plataformas de busca CAPES Periodicos, Conbrepro e Enegep, gerando diversos resultados repetidos. Com isso em consideração, o total de fontes primarias foi reduzido para o seguinte:

- Scielo
- *Science direct*

### 3.1.2. Strings de busca

Para a busca inicial, com o objetivo de ser o mais abrangente o possível, as seguintes strings foram pesquisadas nas citadas fontes primárias:

- Industria 4.0
- *Industry 4.0*
- *Big Data*
- *Cyber phisical systems*
- Internet das coisas
- *Computer-integrated manufacturing*
- *Cyber manufacturing*
- *Fourth Industrial Revolution*
- *Internet of things*
- Sistemas inteligentes
- *Digital Modeling and Fabrication*
- *Industrial Control Systems*
- *Intelligent Maintenance System*

- *Predictiv Manufacturing System*
- SCADA
- *Service 4.0*
- Interface homem-maquina
- Manufatura Aditiva

Antes de adotar qualquer filtro, notou-se um elevado número de publicações que se encaixavam no perfil descrito – *string* sendo pesquisada nas fontes primarias-, impossibilitando assim a análise de todos estes termos.

**Figura 4-Pesquisa para a String Service 4.0**

The screenshot shows the ScienceDirect search interface. The search bar contains 'service 4.0'. The results page displays 162,875 results, sorted by relevance. The 'Refine by' section shows filters for Years (2018: 119, 2017: 10,658, 2016: 13,022) and Article type (Review articles: 4,407, Original research: 132,381). Two search results are visible:

- Service Provision in the Framework of Industry 4.0**  
Open access, Original research article  
Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 221, 7 June 2016, Pages 372-377  
Frank Rennung, Caius Tudor Luminosu, Anca Draghici  
Download PDF (245 KB)
- Business Model Development Towards Service Management 4.0**  
Open access, Original research article  
Procedia CIRP, Volume 47, 2016, Pages 489-494  
Mirka Kans, Anders Ingwald  
Download PDF (103 KB)

**Fonte: Autoria Própria. (2018)**

Na imagem acima, observamos a *string Service 4.0* sendo pesquisada na plataforma *Science Direct* obtendo 162,875 resultados. Visto que a *string* pesquisada não se enquadra no tema central proposto e além disso, apresenta muitos resultados, esta foi eliminada da busca.

Chegou-se então a um número menor de *strings* de busca com o objetivo de delimitar o número de resultados. Diminuindo assim a pesquisa como segue:

- *Industria 4.0*
- *Industry 4.0*
- *Big Data*

- *Cyber physical systems*
- Internet das coisas
- *Computer-integrated manufacturing*
- *Cyber manufacturing*
- *Fourth Industrial Revolution*
- *Internet of things*

### 3.1.3. Filtros adotados

Para esta pesquisa foram adotados os seguintes filtros:

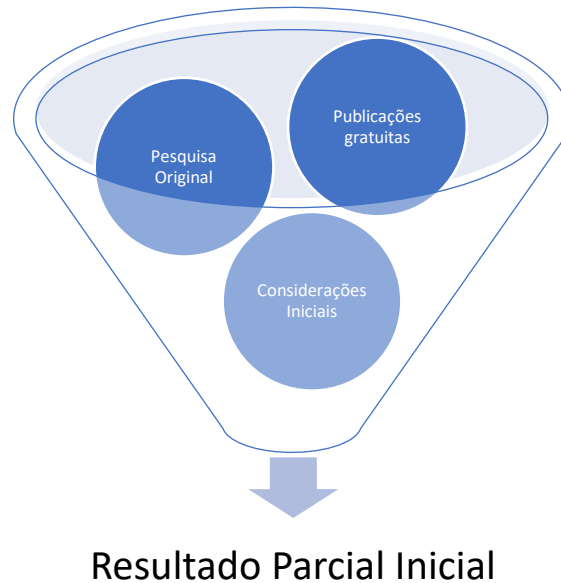
- *String* e bases de pesquisa
- Ano de publicação
- Somente artigos em português e inglês
- Leitura do título, e palavras chave
- Leitura do resumo
- Introdução e conclusão
- Por fim, leitura do artigo inteiro para acolhimento de informações
- Artigos que apresentarem demasiada similaridade podem ser descartados.

## 3.2. Processamento de informação

### 3.2.1. Plataforma *Science Direct*

Para a plataforma *Science Direct*, além das considerações iniciais já citadas, a pesquisa foi realizada levando em conta dois filtros adicionais, visto que o volume de resultados obtidos foi muito grande e assim, demandaria muitos recursos para a sua análise. Estes outros dois filtros são publicações de pesquisa original (*original research*) e publicações de conteúdo aberto ou gratuito (*Open Source*). Segue o fluxograma de pesquisa inicial:

**Figura 5 - Fluxograma inicial de pesquisa**



**Fonte: Autoria Própria. (2018)**

Os seguintes resultados para a primeira busca após as considerações iniciais:

- a. *Industria 4.0*: 282 resultados
- b. *Industry 4.0*: 40247 resultados
- c. *Big Data*: 1161 resultados
- d. *Cyber physical systems*: 4598 resultados
- e. *Internet das coisas*: 730 resultados
- f. *Computer-integrated manufacturing*: 9333 resultados
- g. *Cyber manufacturing*: 1157 resultados
- h. *Fourth Industrial Revolution*: 1630 resultados
- i. *Internet of things*: 10616 resultados

### 3.2.2. Plataforma Scielo

Para a plataforma Scielo foram obtidos os seguintes resultados para a primeira busca após as considerações iniciais:

- *Industria 4.0*: 404 resultados
- *Industry 4.0*: 516 resultados

- *Big Data*: 366 resultados
- *Cyber physical systems*: 4 resultados
- Internet das coisas: 14 resultados
- *Computer-integrated manufacturing*: 13 resultados
- *Cyber manufacturing*: 1 resultados
- *Fourth Industrial Revolution*: 2 resultados
- *Internet of things*: 38 resultados

### 3.3. Análise de Resultados

A busca foi dividida em duas frentes, uma considerando a plataforma de pesquisa *Science direct* e a outra a plataforma Scielo. Após a aplicação dos filtros já citados anteriormente, obtivemos 18 resultados como segue:

- Science Direct: 10 resultados
- Scielo: 8 resultados

A seguir, temos a lista de artigos selecionados:

- BRETTEL, M., FRIEDERICHSEN, N., KELLER, M., & ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 2014.
- COELHO, PEDRO MIGUEL NOGUEIRA. Rumo à indústria 4.0. *FCTUC Eng. Mecânica - Teses de Mestrado*, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316/36992>> Acessado em: 4 mai.2017.
- DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. *Industrie 4.0: Hit or hype?* [industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.
- GANTZ, John; REINSEL, David. The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east. *IDC iView: IDC Analyze the future*, v. 2007, n. 2012, p. 1-16, 2012.
- JAZDI, Nasser. *Cyber physical systems in the context of Industry 4.0*. In: *Automation, Quality and Testing, Robotics*, 2014 IEEE International Conference, 2014.

- KAGERMANN, Henning et al. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion, 2013.
- LASI, Heiner et al. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, v. 6, 2014.
- LEE, J., BAGHERI, B., & Kao, H. A. . A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 2015.
- LEE, J., KAO, H. A., & YANG, S. . Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. Procedia Cirp, 16, 3-8, 2014.
- LÖFFLER, M., & TSCHIESNER, A. The Internet of Things and the future of manufacturing. McKinsey & Company, 2013.
- MANYIKA, J., CHUI, M., BROWN, B., BUGHIN, J., DOBBS, R., ROXBURGH, C., & BYERS, A. H. Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey & Company, 2011.
- MANYIKA, J., Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation. McKinsey Global Institute, 2012.
- MONOSTORI L., Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges, 2014.
- RÜßMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P., & HARNISCH, M. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, 2015.
- SCHLAEPFER, R., KOCH, M., & MERKHOFFER, P. Industry 4.0 challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. finance audit tax consulting corporate, 2015.
- SCHWAB, Klaus. The fourth industrial revolution. Penguin UK, 2017.
- VOLPATO, N., FERREIRA, C. V., SANTOS, J. R. L. dos. Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.
- WEYER, Stephan et al. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. Ifac-Papersonline, v. 48, n. 3, 2015.

### **3.4. Saída de dados da RBS**

#### **3.4.1. Cadastro e Arquivo**

Como tratado anteriormente, todos os artigos obtidos como resultado nesta pesquisa são relevantes pois atenderam a todos os critérios já pré-estabelecidos. Após ter todos os resultados, os mesmos foram arquivados em um arquivo .DOCX.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Indústria 4.0

Para cada resultado colhido da RBS é possível obter uma definição da indústria 4.0 e suas tecnologias, como segue:

Schwab (2017) define a indústria 4.0 como uma série de novas tecnologias que estão fundindo os mundos físico, digitais e biológicos, afetando todas as disciplinas, economias e indústrias.

Para Löffler (2013), a definição da indústria 4.0 se dá pela assimilação, em ambiente fabril, de sistemas ciber-físicos, internet das coisas e internet dos serviços. Estas características conduzem os processos de produção a se tornar cada vez mais eficientes, autônomos e customizáveis na cadeia de valor industrial e esse conjunto de medidas construiu a base para a próxima revolução industrial chamada Indústria 4.0.

Segundo Kagermann et al. (2013), a indústria 4.0 proporcionará maior flexibilidade e robustez juntamente com os mais altos padrões de qualidade engenharia, planejamento, manufatura, operacional e processos logísticos. Isso levará ao surgimento de valor dinâmico, otimizado em tempo real e auto organizável, cadeias que podem ser otimizadas com base em uma variedade de critérios como custo, disponibilidade e consumo de recursos.

Para Manyika (2011, 2012), as inovações em materiais, tecnologia da informação, produção e processos de negócios aplicam-se não apenas a grandes fabricantes globais, mas também a empresas menores. De fato, desde a concepção do produto até a prototipagem rápida e a fabricação digital, ferramentas de manufatura e serviços estão se tornando muito menos dispendiosas e mais acessíveis, diminuindo barreiras para pequenas e médias empresas e empreendedores.

De acordo com Lee, Bagheri e Kao (2014; 2015) um ambiente de indústria 4.0 se define pela tecnologia de automação melhorada com a introdução de métodos de auto otimização, autoconfiguração, de autodiagnóstico e cognição.

Para Monostori (2014), é possível definir a indústria 4.0 como sendo a próxima fase na digitalização do setor manufatureiro, impulsionados pela internet, os mundos real



e virtual estarão cada vez mais próximos para formar a Internet das Coisas. Após o completo desenvolvimento da Internet das coisas, a produção industrial do futuro será caracterizada pela forte individualização de produtos sob as condições de produção altamente flexível (grandes séries), a extensa integração de clientes e parceiros de negócios nos processos de negócios e de valor agregado, e a ligação entre produção e alta qualidade.

Gantz e Reinsel (2007) não definem diretamente o conceito de indústria 4.0 pois o artigo referenciado é anterior a definição estabelecida, porém, conceituam que a tecnologia de dados, visando o *Big Data*, desenvolverá algoritmos para criar automaticamente metadados para dados não estruturados. Com isso, *software de big data* possibilitaram a análise de conjuntos de dados grandes e diversos, software de otimização para sistemas em tempo real e, é claro, gerenciamento de informações, deduplicação de dados (descreve o processo de eliminação de dados duplicados) e ferramentas de segurança cibernética.

Volpato (2007) também não define diretamente o conceito de indústria 4.0, porém conceitua a importância do uso da prototipagem rápida, que é uma das ferramentas da indústria 4.0 dentro do processo produtivo, e a implantação de técnicas de prototipagem rápida envolvem tanto aspectos de gestão do processo de desenvolvimento, como também o emprego de novas técnicas e ferramentas computacionais para projeto, análise, simulação e otimização dos componentes fabricados.

Segundo Schlaepfer et al. (2015), o termo indústria 4.0 refere-se a um estágio de desenvolvimento adicional na organização e gerenciamento de todo o processo da cadeia de valor envolvido na indústria de manufatura.

Para Rüßmann et al. (2015), o conceito de indústria 4.0 transformará tudo que envolve o projeto, fabricação, conectividade, interação entre peças, operação e serviço de produtos e sistemas de produção dentro do ambiente fabril e com isso tornarão os sistemas de produção 30% mais rápidos e 25% mais eficientes e elevarão a personalização em massa a novos níveis.

Segundo Lasi et al. (2014), define a indústria 4.0 como uma mudança na escala operativa da produção resultando em:

- Períodos curtos de desenvolvimento: períodos de desenvolvimento e períodos de inovação precisam ser encurtados. Alta capacidade de inovação está se tornando um fator essencial de sucesso para muitas empresas (*'time to market'*).
- Individualização sob demanda: a mudança de um mercado centrado no vendedor para o mercado de um comprador tem se tornado aparente há décadas, o que significa que os compradores definem as condições do negócio. Essa tendência leva a uma individualização crescente de produtos e, em casos extremos, a produtos individuais. Também é chamado 'tamanho de lote um'
- Flexibilidade: devido aos novos requisitos da estrutura, é necessária maior flexibilidade no desenvolvimento de produtos, especialmente na produção.
- Descentralização: para lidar com as condições especificadas, são necessários procedimentos mais rápidos de tomada de decisão. Para isso, as hierarquias organizacionais precisam ser reduzidas
- Eficiência de recursos: a crescente escassez e o aumento de preços de recursos básicos, bem como a mudança social no contexto de aspectos ecológicos, exigem um foco mais intensivo na sustentabilidade em contextos industriais. O objetivo é um aumento econômico e ecológico da eficiência.

Já para Weyer (2015), o conceito de Indústria 4.0 define-se como o desenvolvimento de ambientes inteligentes em que o abismo entre o mundo real e o mundo digital se torna inexistente. Esta transição para um ambiente com fábricas inteligentes, permitirá processos dinâmicos de reengenharia e capacidade de responder de forma flexível a interrupções e falhas. Neste ambiente de fábricas inteligentes, dispositivos de campo, máquinas, módulos de produção e os produtos serão compreendidos como um único módulo em que informações são autonomamente trocadas entre os equipamentos, desencadeando ações e controlando um ao outro independentemente.

Segundo Drath (2014), a definição de Indústria 4.0 se dá pela tríade de objetos físicos, sua representação virtual e serviços e aplicativos. Componentes, produtos e outras entidades na produção industrial teriam uma identidade própria na rede. Eles poderiam negociar uns com os outros, ou poderiam ser interligados e simulados. Os sistemas podem ser virtualmente integrados, testados e otimizados.

Para Brettel et al. (2014), a Indústria 4.0 concentra-se no estabelecimento de produtos e processos de produção. Neste novo processo de fabricação, ocorrerá a necessidade de desenvolvimento rápido de produtos, produção flexível e ambientes complexos. Dentro da fábrica do futuro, também considerada uma fábrica inteligente, os sistemas ciber-físicos permitirão a comunicação entre humanos, máquinas e produtos. Como máquinas e produtos serão capazes de adquirir e processar dados, eles podem controlar certas tarefas e interagir com humanos por meio de interfaces. No ambiente de fabricação inteligente, produtos inteligentes e personalizados compreendem o conhecimento de seu processo de fabricação e aplicação ao consumidor e independentemente liderar o seu caminho através da cadeia de abastecimento. Para alcançar esse nível de automação será necessário desenvolvimento e/ou criação de algumas tecnologias, como:

- *Big Data*;
- Sistemas inteligentes;
- Interface homem-máquina;
- Transferência digital para física.

Para Jazdi (2014), a integração de tecnologias cibernéticas em novos produtos, bem como em plantas de produção, torna os produtos habilitados para internet e também permite serviços inovadores, por exemplo, diagnósticos baseados na web de baixo custo e eficientes, manutenção de longa distância e controle e operação distribuídos. O objetivo final de tais sistemas é melhorar a relação custo/benefício para a produção. Isso também leva à possibilidade de implementar novos modelos de negócios, conceitos operacionais e controle inteligente que priorizem o usuário e suas necessidades individuais usando essas tecnologias. Muitos conceitos novos para automação na manufatura podem ser concebidos, não sem exigir muitos esforços de desenvolvimento de sistema para provar seu valor e efetividade.

Segundo Coelho (2016), a indústria 4.0 está fortemente focada na melhoria contínua em termos de eficiência, segurança, produtividade das operações e especialmente no retorno do investimento. São várias as tecnologias e tendências facilitadoras disponíveis. As tecnologias consideradas como pilares desta transformação tecnológica da indústria inteligente: A internet das coisas e serviços; sistemas ciber físicos; *Big-Data*.

Reunidas todas as definições anteriores para a Indústria 4.0, observamos que o impacto destas medidas de implantação do conceito vai para além da simples digitalização, passando por uma forma muito mais complexa de inovação baseada na combinação de múltiplas tecnologias, que forçará as empresas a repensar a forma como gerem os seus negócios e processos, como se posicionam na cadeia de valor, com pensam no desenvolvimento de novos produtos e os introduzem no mercado, ajustando as ações de marketing e de distribuição. É preciso perceber que as alterações se irão verificar em ambos os lados da cadeia de abastecimento, tanto a nível das exigências dos clientes como dos parceiros de negócio. De acordo com Klaus Schwab no seu Livro “*the fourth Industrial Revolution*” são quatro as principais alterações esperadas na Indústria em geral:

- Alterações nas expectativas dos clientes.
- Produtos mais inteligentes e mais produtivos.
- Novas formas de colaboração e parcerias.
- A transformação do modelo operacional e conversão em modelo digital.

E esse conceito de Industria 4.0 é impulsionado por quatro desafios em âmbito industrial:

I. A ascensão surpreendente do volume de dados, a necessidade de grande poder computacional, conectividade além da necessidade de novas redes de baixa potência que interliguem os diversos sensores disponíveis em uma linha de fabricação;

II. A necessidade do surgimento de análise da capacidade da inteligência empresarial;

III. Novas formas de interação homem-máquina, tais como interfaces de toque e sistemas de realidade aumentada;

IV. E ainda, melhorias na transferência de instruções digitais para o mundo físico, como a robótica avançada e impressão 3-D.

Afim de atingir tal nível de digitalização e automação, a indústria dispõe de ferramentas, algumas em fase de implantação e outras que ainda necessitam certa evolução tecnológica. Estas ferramentas de suporte a Industria 4.0 serão apresentadas nos tópicos a seguir.

#### 4.1.1. Sistemas Inteligentes

Segundo Lee et al. (2014), os desenvolvimentos recentes de uma estrutura de Internet das coisas aliada a uma emergência da tecnologia de detecção, criaram uma grade de informação unificada que conecta firmemente os sistemas e os seres humanos. Com uma análise mais avançada, o advento da computação em nuvem e uma estrutura de sistemas ciber-físicos<sup>7</sup>, a indústria futura conseguiu um sistema de informações abrangente para todo o sistema produtivo, que auxilia as máquinas a serem autoconscientes e a evitar ativamente potenciais problemas de desempenho.

A respeito da máquina autoconsciente, temos:

Um sistema de máquina autoconsciente e de ciclos de manutenção automática é definido como um sistema que pode auto avaliar a sua própria condição física e degradação e ainda usar informações semelhantes de outros pares para decisões de manutenção inteligente para evitar potenciais problemas (LEE, KAO e YANG, 2014).

Esta capacidade de independência que a máquina adquirir é essencial para uma operação bem-sucedida em domínios como a interpretação de sinais, o diagnóstico e reparação em tempo real e o controle de robôs móveis.

Um modelo de referência para o projeto de sistemas inteligentes, simula o funcionamento de um cérebro humano onde, este cérebro, funciona como uma hierarquia de módulos computacionais paralelos maciços e estruturas de dados interligadas por vias de informação, essas são as bases para uma teoria computacional da inteligência segundo ALBUS (2001). Ele discute os principais fluxos de investigação que acabará por convergir em uma teoria científica da mente e propõe um caminho de pesquisa que poderia levar melhor ao desenvolvimento de sistemas verdadeiramente inteligentes.

---

<sup>7</sup> É um sistema composto por elementos computacionais colaborativos com o intuito de controlar entidades físicas.

**Figura 6 - Modelo de Referência para Sistemas Inteligentes**



**Fonte: Adaptado de J.S.ALBUS, (2001).**

Usando este como o modelo básico sobre o qual os sistemas inteligentes devem ser baseados, J. S. Albus propõe uma arquitetura de modelo de referência que acomoda conceitos de inteligência artificial, teoria de controle, compreensão de imagem, processamento de sinal e teoria de decisão.

- Inteligência Artificial (IA): é um ramo da ciência da computação que se propõe a elaborar dispositivos que simulem a capacidade humana de raciocinar, perceber, tomar decisões e resolver problemas, enfim, a capacidade de ser inteligente.
- Teoria de controle: é um dispositivo ou um grupo de dispositivos que gerenciam o comportamento de outros dispositivos.
- Compreensão de imagem: é a aplicação de compressão de dados em imagens digitais. Como efeito, o objetivo é reduzir a redundância dos dados, de forma a armazenar ou transmitir esses mesmos dados de forma eficiente.
- Processamento de sinal: consiste na análise e/ou modificação de sinais utilizando teoria fundamental, aplicações e algoritmos, de forma a extrair informações dos mesmos e/ou torná-los mais apropriados para alguma aplicação específica.
- Teoria de decisão: A teoria da decisão é uma ciência que trabalha com a tomada de decisões racionais e consistentes em situações de incerteza, fornecendo um conjunto de conceitos e técnicas para apoio do decisor. O objetivo da Teoria da Decisão é apoiar a escolha de uma ação (ou de uma estratégia) que seja consistente com as alternativas, a informação, os valores e a lógica do decisor no momento da tomada de decisão.

O objetivo final da IA é construir máquinas que emitem a inteligência humana. Um teste interessante para determinar se um computador apresenta comportamento inteligente foi elaborado por Alan Turing, pioneiro britânico da IA. De acordo com o teste

de Turing, um computador só pode ser considerado "inteligente" quando um entrevistador humano conversando com um ser humano e um computador, ambos sem seres vistos, não consegue determinar qual é qual (VON NEUMANN, J., & BURKS, A. W., 1996). Atualmente, segundo J. S. Albus os sistemas inteligentes exemplificados nos produtos de IA comerciais, estão longe de apresentar qualquer sinal significativo de inteligência.

Dentre os sistemas inteligentes podemos classifica-los como:

a) sistemas especialistas - São tentativas de imitar os especialistas humanos por meio da aplicação de metodologias de raciocínio ou conhecimento sobre uma área específica. Esses especialistas possuem conhecimento e experiência específicos na área problemática. Os sistemas especialistas podem apoiar os tomadores de decisões ou substituí-los completamente. Esses sistemas consistem na tecnologia de IA mais aplicada e comercialmente bem-sucedida;

b) processamento de linguagem natural - se refere à comunicação com um computador no idioma nativo do usuário. Para entender um pedido de informação em linguagem natural, o computador precisa ter o conhecimento para analisar e, depois, interpretar a entrada. Depois que a entrada é entendida pelo computador, ele pode tomar a ação desejada;

c) reconhecimento de voz - permite que um computador compreenda instruções dadas no idioma normal do usuário, através do teclado ou por voz. Objetivo do reconhecimento de voz é permitir que um sistema não só reconheça a entrada de voz, mas também a compreenda. Hoje, o reconhecimento de voz é empregado em computadores de mão (PDAs) sem fio, bem como em muitas aplicações em lojas e depósitos, e uma de suas vantagens é a liberdade das mãos;

d) redes neurais - é um sistema de programas e estruturas de dados que procura simular o funcionamento do cérebro humano. Uma rede neural normalmente envolve um grande número de processadores que operam em paralelo, cada qual com sua própria esfera de conhecimento e acesso a dados na memória local. As redes neurais podem ajudar uma ampla gama de problemas, desde a segurança em voos até o controle de manutenções.

e) lógica difusa - lida com incertezas ao simular o processo do raciocínio humano, permitindo que o computador se comporte com menos precisão e mais lógica do que os computadores convencionais. O fundamento em que se baseia esse método é que a tomada de decisão nem sempre é uma questão de preto e branco, verdadeiro ou falso. Ela normalmente envolve áreas intermediárias em que o termo talvez seja mais apropriado. Na verdade, os processos de tomada de decisão criativos frequentemente são não estruturados, informais, controversos e desconexos. Atualmente, existem apenas alguns exemplos de aplicações de lógica difusa nas empresas.

#### 4.1.2. Interfaces homem-máquina

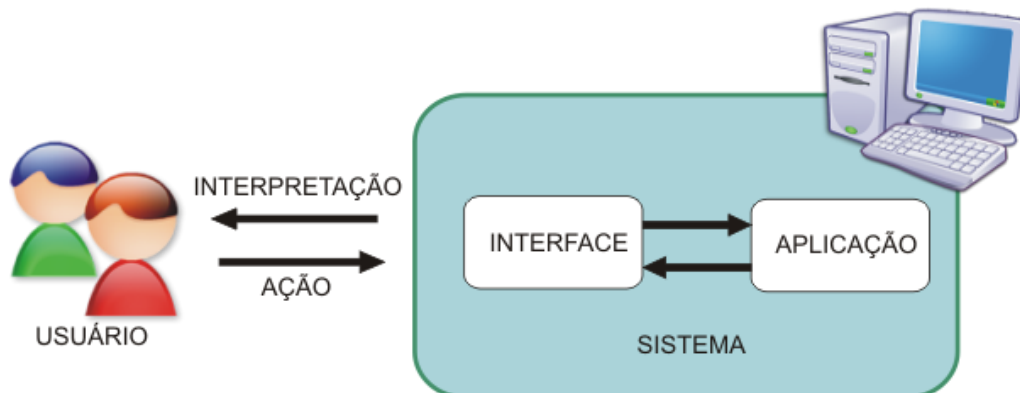
Para Lee, Bagheri e Kao (2014), a interface homem-máquina consiste em um aplicativo de software que apresenta informações a um operador ou usuário sobre o estado de um processo, o qual aceita e implementa as instruções de controle de operadores. Normalmente, as informações são exibidas em um formato gráfico (interface gráfica do usuário). Uma interface homem-máquina (IHM) é muitas vezes parte de um sistema SCADA (Controle Supervisor e Aquisição de Dados).

Segundo artigo da revista BW, uma IHM inclui os componentes eletrônicos necessários para sinalizar e controlar o estado dos equipamentos de automação industrial. Esses produtos de interface podem variar de um indicador de status LED básico a um painel de 20 polegadas com interface touchscreen. As aplicações IHM requerem robustez mecânica e resistência à água, poeira, umidade, uma ampla gama de temperaturas e, em alguns ambientes, comunicação segura.

Estes dispositivos de interface permitem ao operador, em determinadas circunstâncias, ir além da operação da máquina e observar o estado do equipamento, bem como interferir no processo. As informações ("feedback") são fornecidas por meio de painéis de controle, com luzes sinalizadoras, campos de indicação ou botões, ou através de software, utilizando um sistema de visualização executado em um terminal, por exemplo. No caso de um interruptor de luz, o feedback visual vem da presença de luz com o interruptor ligado e escuridão com o interruptor desligado. A figura 7 mostra o modelo esquemático de uma IHM.



**Figura 7 - Modelo de Interface Homem-máquina**



Fonte: Revista BW, (2016).

#### 4.1.3. Transferência digital para física

A Prototipagem Rápida é uma tecnologia notável e poderosa que mudou os processos de design, de engenharia e de manufatura em segmentos como aeroespacial, agricultura, construção civil, automotiva, educacional, saúde, alta tecnologia, industrial, naval e bens de consumo. A priori dedicada à demora na construção de protótipos, hoje é usada em todo o processo de design, e estendeu seu alcance de aplicação com soluções para Ferramentaria e Produção.

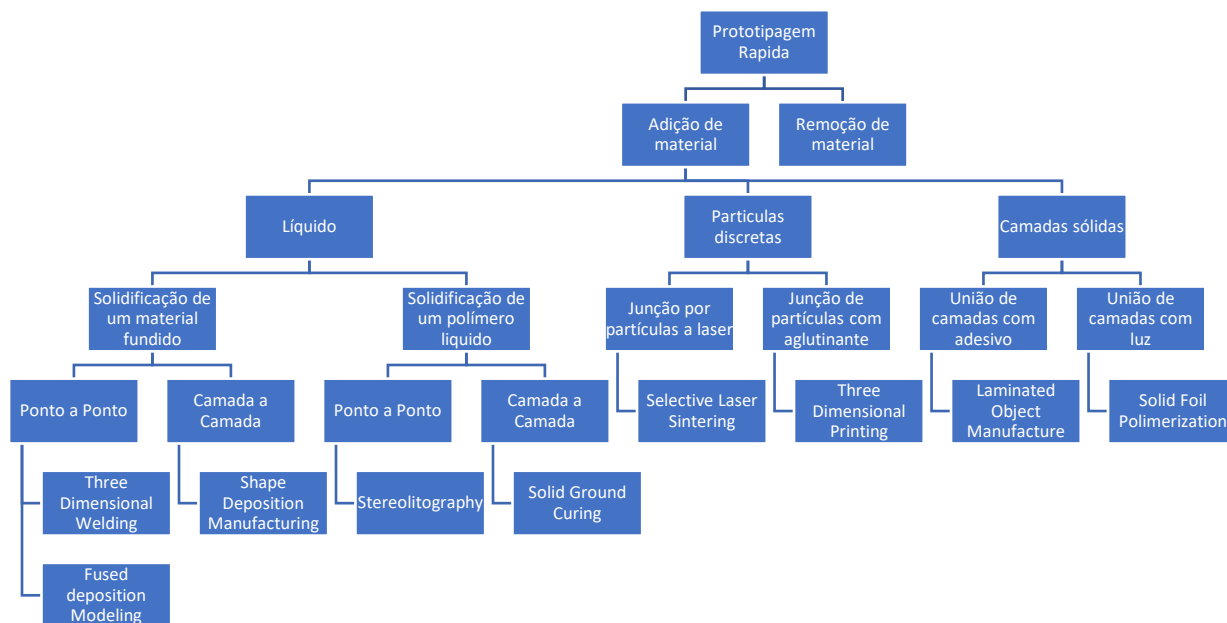
A transferência de dados digitais para física é uma classe tecnológica cuja origem se baseia em duas técnicas: a topografia e a foto escultura. A primeira, foi um método desenvolvido por Blather no final do século XIX para a confecção de mapas de relevo, e consiste na impressão de uma série de discos de areia contendo as curvas de nível das cartas topográficas, já no início da década de 70, Matsubara (Mitsubishi Motors) propôs um recoberta por pó de grafite ou areia eram endurecidas após a exposição a luz, e mais tarde as outras partes eram retiradas com a utilização de um solvente. Verificou-se que essa técnica poderia ser empregada para reproduzir as superfícies de fabricação complexa, em função da operação da máquina.

A técnica da foto escultura nasceu no século XIX com a aspiração de criar réplicas exatas de peças tridimensionais. Frenchman Francois Willème propunha o posicionamento de 24 câmeras fotográficas igualmente distribuídas em torno de um

objeto, colocado no centro de uma sala circular. Elas eram então acionadas, simultaneamente, e com a silhueta de cada foto um artista esculpia uma das partes da porca cilíndrica do objeto. De modo a reduzir o trabalho de escultura, desenvolveu-se uma técnica que utilizava uma luz graduada para expor uma gelatina fotossensível, que se expande proporcionalmente ao contato com a água. Anéis são então fixados sobre um suporte para fazer a réplica do objeto (GIBSON et al., 2010). Segundo Ferreira (2001), essa tecnologia se faz muito presente na indústria de transformação de plásticos. Polímeros foram os primeiros materiais processados, surgindo em seguida os processos de SLS e FDM. Mas não só os equipamentos que fabricam peças por manufatura aditiva diretamente em polímeros apresentam benefícios para indústria de processamento de plásticos, a fusão a laser de metais proporciona a fabricação de moldes de injeção de refrigeração com geometrias complexas e otimizadas, reduzindo assim o tempo de ciclo do molde e evitando problemas de distorção de plásticos.

As tecnologias de prototipagem rápida dividem-se em duas categorias principais: os métodos de remoção de material e de adição de material (FERREIRA, 2001). A primeira, chamada de prototipagem rápida subtrativa (SRP – *Subtractive Rapid Prototyping*), consiste no desbaste de blocos de diversos materiais, geralmente madeira ou espumas. Já a segunda se refere a prototipagem rápida por deposição de materiais (ARP – *Additive Rapid Prototype*), onde os modelos são construídos progressivamente por camadas não havendo necessidade de utilizar quaisquer tipos de ferramentas. A figura 9 mostra as principais tecnologias associadas à prototipagem rápida.

**Figura 8 - Tecnologias Associadas à Prototipagem Rápida**



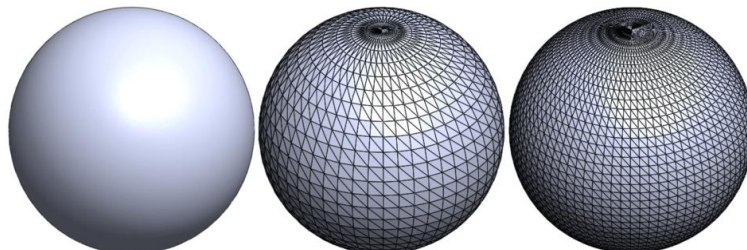
**Fonte: Adaptado de RAULINO, B. R., (2011).**

Na RP (prototipagem rápida) os modelos precisam ser previamente preparados para serem fabricados, e assim se obter os modelos físicos tridimensionais através de ferramentas CAD/CAM. O processo para se obter os modelos, inicia-se com a modelagem digital 3D da peça e seu posterior envio ao equipamento de prototipagem. Este processo é dividido em três fases: pré-processamento, processamento do protótipo rápido e pós-processamento (RAULINO, B. R., 2011).

Ainda segundo Raulino (2011), durante o pré-processamento, cria-se um modelo da peça em software CAD 3D. Em seguida, o arquivo gerado deve ser convertido para um padrão aceito pela máquina de RP. O formato STL é largamente utilizado, e consiste na representação geométrica da superfície do modelo em malha geométrica, sem detalhes de cores ou texturas comuns em sistemas CAD, mas desnecessários na prototipagem, conforme apresentado na figura 9. Cada triângulo, dentro da malha

geométrica criada, define um vetor normal, acompanhado pelas coordenadas de um sistema cartesiano tridimensional.

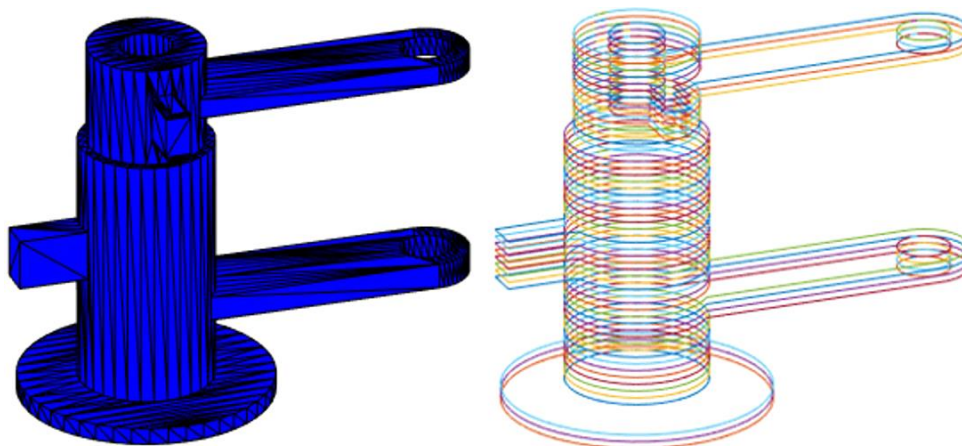
**Figura 9 – Modelo de Sólido 3-D Convertido para Representação STL**



**Fonte: VOLPATO et al., (2007).**

No processamento do protótipo, etapa seguinte do processo, o sólido é fatiado em camadas que serão construídas de forma sequencial na máquina de RP, figura 10. Estas fatias representam um plano de seção transversal associado a uma espessura uniforme, e cada uma é avaliada para que se possa determinar com exatidão o formato desejado e o planejamento da trajetória de adição. Envolve definição de rotas para preenchimento de bordas e deposição de material. Esta etapa possui várias configurações que variam com cada tecnologia, e é muito importante pois determina o tempo de construção e a qualidade final. A etapa de deposição de material corresponde ao controle de geração do objeto e tem como função propiciar de fato a fabricação do modelo físico, através da emissão de sinais de controle que monitoram o processo de adição.

**Figura 10 - Modelo de Arquivo STL com suas Respectivas Camadas de Construção Aditivas**



Fonte: DING D. et al., (2016).

A próxima fase corresponde ao pós-processamento que equivale aos processos de finalização da prototipagem como remoção do suporte da peça, limpeza, cura do material quando necessários.

As diversas técnicas de prototipagem rápida ARP são baseadas no mesmo princípio: sinterização, aglutinação, polimerização ou solidificação de camadas do material de que serão construídas as fatias do modelo digital, independentemente da natureza dos materiais, que podem ser pós (cerâmicos, plásticos ou metálicos), filetes plásticos, resina líquida ou outros.

Dentro desses grupos, exemplos de maior expressão são a Estereolitografia (SLA), a Modelagem por deposição de material fundido (FDM), a Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e a Impressão Tridimensional (3DP) – as duas últimas representantes do grupo baseado em pó (RIBEIRO R. R., 2010).

Segundo ainda Ribeiro (2010), por ser uma fabricação baseada em camadas, os sistemas de ARP são capazes de produzir peças de geometria e formas complexas, o que seria caro para construir com sistemas tradicionais, impraticável ou mesmo impossível. Produtos complexos tendem a ser mais bem representados em protótipos construídos a partir das tecnologias de ARP; os com menor complexidade, tendem a ser

representados de forma satisfatória nos aspectos de precisão, acabamento e funcionalidade pela tecnologia de SRP.

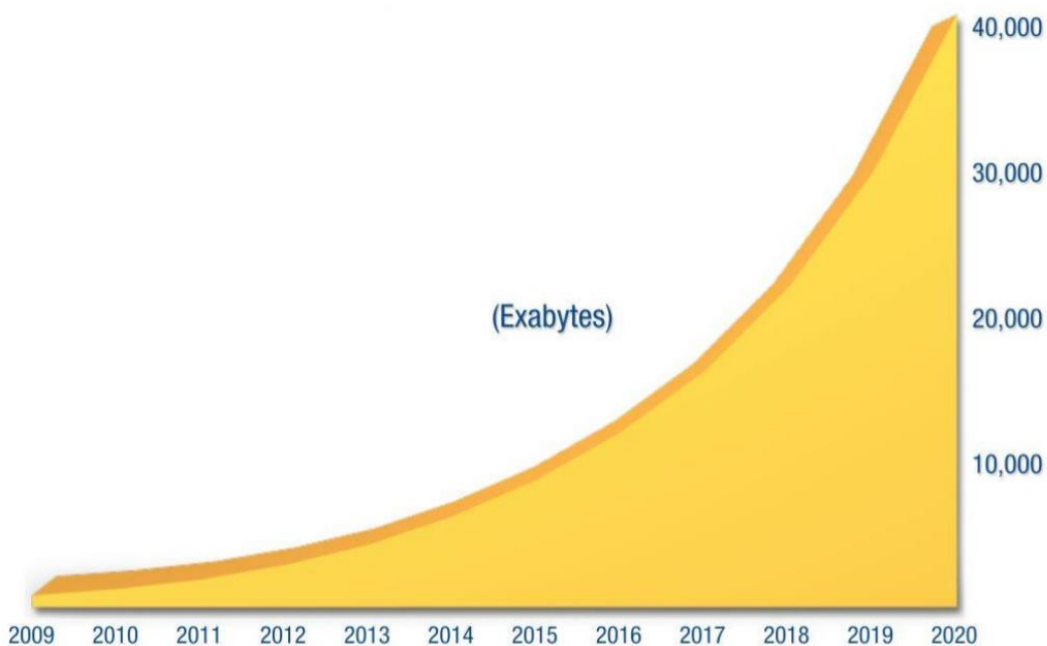
#### 4.1.4. *Big Data*

Big Data refere-se a conjuntos de dados digitais cujo tamanho está além da capacidade de ferramentas de software de banco de dados típicas para capturar, armazenar, gerenciar e analisar estes (MANYIKA et al., 2011). Essa definição é intencionalmente subjetiva e incorpora uma definição de movimento de como um conjunto de dados deve ser grande para ser considerado Big Data - ou seja, não definimos grandes dados em termos de serem maiores do que um certo número de terabytes.

Assumimos que, à medida que a tecnologia avança ao longo do tempo, o tamanho dos conjuntos de dados que se qualificam como Big Data também aumentará. Observe também que a definição pode variar por setor, dependendo de quais tipos de ferramentas de software estão normalmente disponíveis e quais tamanhos de conjuntos de dados são comuns em uma determinada indústria. Com essas ressalvas, o *Big Data* está presente em muitos setores da indústria e varia de algumas dúzias de *terabytes* a múltiplos *petabytes* (MANYIKA et al., 2011).

Neste contexto, a partir de um estudo anual da IDC sobre o universo digital, e a partir de dados coletados em 2005 e estendendo-se até 2020, observamos um universo digital em constante expansão e cada vez mais complexo. A figura 11 mostra uma estimativa de crescimento de dados até 2020.

**Figura 11 - Estimativa do crescimento de todos os dados online até 2020**



**Fonte: IDC's Digital Universe Study, EMC, (2012).**

Com o surgimento da tecnologia de análise e conhecimento do Big Data, o investimento em gastos com hardware, software, serviços, telecomunicações e pessoal que poderia ser considerado a infraestrutura do universo digital e das telecomunicações crescerá 40% entre 2012 e 2020. Naturalmente, o investimento em áreas específicas como gerenciamento de armazenamento, segurança, e computação em nuvem crescerá consideravelmente mais rápido (GANTZ, J., & REINSEL, D. 2012).

Dentro do conceito de produção 4.0, análises inteligente e sistemas ciber-físicos estão se unindo para realizar um novo pensamento de gestão da produção e transformação de fábrica. Usando instalações apropriadas de sensores, vários sinais, tais como vibração, pressão, etc. podem ser colhidos para análise.

Segundo Monostori (2014), o gerenciamento e a distribuição de dados em ambientes de Big Data são críticos para a obtenção de máquinas autoconscientes e de autoaprendizagem. A importância de alavancar flexibilidade e as capacidades adicionais oferecidas pela compactação em nuvem é inevitável, mas a adaptação de prognósticos e algoritmos de gerenciamento de manutenção para implementar eficientemente as tecnologias atuais de gerenciamento de dados, requer mais pesquisa e desenvolvimento.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quarta revolução industrial ou indústria 4.0, enfatiza a ideia de digitalização consistente e da conexão entre todas unidades produtoras em uma economia. As tecnologias de informação e comunicação serão usadas para a evolução de uma cadeia de abastecimento e linha de produção global que nos levará a um patamar mais alto no que se refere a automação e digitalização: máquinas usando ferramentas de auto otimização, autoconfiguração e inteligência artificial serão utilizadas para solução de problemas complexos afim de entregar um vasto leque de opções mais eficientes em relação ao custo e de qualidade superior.

A adoção das técnicas e práticas relacionadas a indústria 4.0 impulsionará a utilização de importantes ferramentas na produção de bens. Estas ferramentas são intrínsecas a natureza do conceito de indústria 4.0 e consistem em: Sistemas inteligentes; Interfaces homem-máquina; Transferência digital para física e *Big data*.

A indústria 4.0 terá um impacto significativo no mercado brasileiro em termos de sistema organizacional e produção. Há a necessidade de estudos posteriores afim de delimitar a sua aplicação no cenário nacional e possíveis resultados.



## REFERÊNCIAS

ALBUS, J. S., MEYSTEEL, A. M. **Engineering of mind: an introduction to the science of intelligent systems**, 2001. Disponível em: <<http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471438545.html>> Acessado em: 4 mai.2017.

BRETTEL, M., FRIEDERICHSEN, N., KELLER, M., & ROSENBERG, M. **How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective**. International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, 8(1), 37-44, 2014.

COELHO, PEDRO MIGUEL NOGUEIRA. **Rumo à indústria 4.0**. FCTUC Eng. Mecânica - Teses de Mestrado, 2016. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/10316/36992>> Acessado em: 4 mai.2017.

CONFORTO, Edivandro C. et al. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Porto Alegre, 2011.

DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. **Industrie 4.0: Hit or hype?**[industry forum]. IEEE industrial electronics magazine, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

DING D, PAN Z, CUIURI D, LI H, VAN DUIN S. **Advanced Design for Additive Manufacturing: 3D Slicing and 2D Path Planning**. In New Trends in 3D Printing 2016. InTech.

FERREIRA JM, ALVES NM, MATEUS AJ, CUSTÓDIO PM. **Desenvolvimento integrado de produtos e ferramentas por metodologias de engenharia inversa e prototipagem rápida**. In 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Florianópolis 2001.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GANTZ, J., & REINSEL, D. (2012). **The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east**. IDC iView: IDC Analyze the future, 1-16, 2012.

GIBSON I, ROSEN DW, STUCKER B. **Additive manufacturing technologies**. New York: Springer; 2010.

GIL, A. Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

GREENWOOD, Jeremy. **The third industrial revolution: technology, productivity, and income inequality**. American Enterprise Institute, 1997.

KAGERMANN, Henning et al. **Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0**: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion, 2013.

LASI, Heiner et al. **Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering**, v. 6, 2014.

LEE, J., BAGHERI, B., & Kao, H. A. . **A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems**. Manufacturing Letters, 3, 18-23, 2015.

LEE, J., KAO, H. A., & YANG, S. . **Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment**. Procedia Cirp, 16, 3-8, 2014.

LÖFFLER, M., & TSCHIESNER, A. . **The Internet of Things and the future of manufacturing**. McKinsey & Company, 2013.

MANYIKA, J., CHUI, M., BROWN, B., BUGHIN, J., DOBBS, R., ROXBURGH, C., & BYERS, A. H. **Big data**: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey & Company, 2011.

MANYIKA, J., **Manufacturing the future**: The next era of global growth and innovation. McKinsey Global Institute, 2012.

MONOSTORI, László. **Cyber-physical production systems**: roots, expectations and R&D challenges. Procedia Cirp, v. 17, 2014.

OLIVEIRA NETTO, A. A. de. **Metodologia da pesquisa científica**: guia prático para a apresentação de trabalhos acadêmicos. 3. ed. rev. e atual. Florianópolis: Visual Books, 2008.

RAULINO, B. R. . **Manufatura aditiva**: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). TCC (Graduação)–Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Universidade de Brasília. Brasília. 2011.

RÉMOND, René. **O século XIX, 1815-1914**. São Paulo: Cultrix, 1981.

REVISTABW. **Interface Homem-Máquina**: Conceitos Iniciais. Revista Brasileira de Web: Tecnologia. Disponível em: <<http://www.revistabw.com.br/revistabw/ihtm-conceitos-iniciais/>>. Acessado em: 29 mai.2017.

RIBEIRO, T. R. R. **A prototipagem digital por remoção e adição de materiais, e a sua interface no desenvolvimento de produtos em desing**. FAPESP-Bauru, 2010.

RICHARDSON, R. J. . **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

RÜßMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P., & HARNISCH, M. . **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, 14, 2015.

SCHLAEPFER, R., KOCH, M., & MERKHOFFER, P. (2015). **Industry 4.0 challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies**. Deloitte, AG, Zurich. Disponível em: <<http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>> (20.12.2015)> Acesso em: 20 de jan.2017.

SCHWAB, Klaus. **The fourth industrial revolution**. Penguin UK, 2017.

VOLPATO, N., FERREIRA, C. V., SANTOS, J. R. L. dos. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

WEYER, Stephan et al. **Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems**. Ifac-Papersonline, v. 48, n. 3, 2015.