

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL**

Jânio Vaz Bragança

**Implementação das tecnologias da indústria 4.0.  
Requisitos, fatores motivadores e barreiras**

Porto Alegre  
2019

Jânio Vaz Bragança

**Implementação das tecnologias da indústria 4.0. Requisitos, fatores motivadores e barreiras**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional.

Orientadora: Professora Maria Auxiliadora Cannarozzo Tinoco, Dra.

Porto Alegre  
2019

Jânio Vaz Bragança

**Implementação das tecnologias da indústria 4.0. Requisitos, fatores motivadores e barreiras**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Maria Auxiliadora Cannarozzo Tinoco, Dra.**  
Orientador PMPEP/UFRGS

---

**Prof. Christine Tessele Nodari, Dra.**  
Coordenador PMPEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

**Prof. Néstor Fabián Ayala, Dr.**  
Engenharia de Serviços, Departamento Interdisciplinar - UFRGS

**Prof. Istefâni Carisio de Paula, Dra.**  
PMPEP / UFRGS

**Prof. Claudio José Muller, Dr.**  
PMPEP / UFRGS

Dedico este trabalho à minha família,  
que me apoiou e acreditou na minha  
capacidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Liane, meu filho João Victor, e à afilhada Carol, que me deram todo o suporte e incentivo, durante quase três anos de estudos e ausências. Eles foram meus pilares.

Agradeço à minha orientadora, pelo profissionalismo, disponibilidade e paciência. Seus questionamentos assertivos, ajudando a encontrar soluções e contribuindo muito para o sucesso deste trabalho. Igualmente, agradeço aos meus colegas de mestrado, pela convivência, debates em altíssimo nível, além das dinâmicas que sempre acrescentaram.

Por fim, agradeço aos componentes da banca examinadora, pela dedicação em ler minuciosamente e acrescentar críticas muito valiosas e construtivas.

## RESUMO

O desenvolvimento industrial ao longo dos anos foi marcado por eventos importantes que mudaram a forma de produzir e de analisar a indústria. A disrupção da inovação marcou eras que foram chamadas de revoluções industriais. A última revolução industrial, chamada de indústria 4.0, é uma realidade mundial determinada por avanços tecnológicos e interconectividade, permitindo maior agilidade e produtividade na manufatura. Neste contexto, o presente estudo objetiva identificar e priorizar as tecnologias da indústria 4.0 que atendam os principais requisitos de manufatura e avaliar o estado de implementação destas tecnologias, além das barreiras e fatores motivadores para esta implementação. Para isso, foi realizado um levantamento dos requisitos de manufatura pesada e sua relação com as tecnologias da indústria 4.0 de forma a identificar as principais tecnologias que contribuem para esses requisitos. Além disso, realizou-se uma avaliação dos principais fatores motivadores e inibidores para a aplicação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0, bem como do nível de aplicação destas tecnologias na manufatura, do ponto de vista de profissionais do setor industrial brasileiro. Finalmente, verificou-se a relação entre o nível de implementação das tecnologias, as barreiras e os fatores motivadores. Os resultados obtidos mostraram que tecnologias como Sistemas Ciber Físicos, análise de Big Data, virtualização e Internet das Coisas, apresentam um grau de priorização maior relacionado às demais, sendo mandatórios para um projeto de manufatura e que o nível de aplicação de algumas tecnologias tem uma influência direta nos fatores motivadores, potencializando ou minimizando a percepção de ganhos. Da mesma forma, a existência de barreiras como falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão, pode afetar diretamente os fatores motivadores, o que evidencia o baixo nível de aplicação da indústria 4.0 no Brasil. Este trabalho contribui para o estado da arte sobre indústria 4.0, uma vez que estudos sobre o assunto ainda são escassos, principalmente no Brasil.

Palavras-Chave: **Indústria 4.0. Internet das coisas. IOT. Manufatura. Fatores motivadores. barreiras.**

## ABSTRACT

Industrial development has been marked by important events over the years, which have changed the way we produce and analyze the industry. The disruption of innovation marked eras called industrial revolutions. The last industrial revolution, known as industry 4.0, is a worldwide reality determined by technological advances and interconnectivity allowing greater agility and productivity in manufacturing. In this context, the present study aims to identify and prioritize industry 4.0 technologies that meet the main manufacturing requirements and evaluate the state of implementation of these technologies, as well as barriers and motivating factors for this implementation. For this, a survey of the heavy manufacturing requirements and their relationship with the technologies of the industry 4.0 was carried out in order to identify the main technologies that contribute to these requirements. In addition, an evaluation was made of the main motivating and inhibiting factors for the application of technologies related to industry 4.0, as well as the level of application of these technologies in manufacturing, from the perspective of professionals acting in the Brazilian industrial sector. Finally, the relationship between the level of implementation of the technologies, the barriers and the motivating factors was verified. The results showed that technologies such as Physical Cyber Systems, Big Data analysis, virtualization and Internet of Things, present a higher degree of prioritization related to the others, being mandatory for a manufacturing project and that the level of application of some technologies has a direct influence on the motivating factors, maximizing or minimizing the perception of benefits. Likewise, the existence of barriers such as lack of practical knowledge for decision making, can directly affect the motivating factors, which shows the low level of application of industry 4.0 in Brazil. This work contributes to the state of the art on industry 4.0, since studies on the subject are still scarce, especially in Brazil.

**Key Words:** Industry 4.0. Internet of things, IOT. Manufacturing. Motivator factors Barriers.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Priorização das tecnologias da Indústria 4.0 conforme os requisitos de manufatura automotiva..... | 34 |
| Figura 2: Modelos que apresentaram resultado significativo.....   | 62 |
| Figura 3: Nível de implementação das Tecnologias.....   | 63 |
| Figura 4: Fatores motivadores para implementação das Tecnologias da Indústria 4.0.....                      | 64 |
| Figura 5: Fatores Inibidores para a implementação das Tecnologias da Indústria 4.0 .....                    | 64 |



## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1: Estrutura da dissertação .....            | 18 |
| Quadro 2: Tecnologias da Indústria 4.0 .....        | 27 |
| Quadro 3: Perfis dos respondentes da Pesquisa ..... | 30 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Dados demográficos dos respondentes.....      | 61 |
| Tabela 2: Análise descritiva do modelo 1.....           | 65 |
| Tabela 3: Análise descritiva do modelo 2.....           | 65 |
| Tabela 4: Regressão múltipla referente ao modelo 1..... | 66 |
| Tabela 5: Regressão múltipla referente ao modelo 2..... | 68 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.1. TEMA E OBJETIVOS.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>1.3. DELINEAMENTO DO ESTUDO .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.3.1. Método de Pesquisa .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.3.2. Método de Trabalho .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>1.4. DELIMITAÇÕES DO ESTUDO .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....</b>  | <b>19</b> |
| <b>1.6. REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>21</b> |
| <b>2. ARTIGO 1 – Requisitos de manufatura automotiva pesada no contexto da indústria 4.0.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>2.1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>2.2.1. Indústria 4.0 .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>2.2.2. Tecnologias da Indústria 4.0 para manufatura.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>2.2.3. Requisitos de manufatura na indústria automotiva .....</b>   | <b>29</b> |
| <b>2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>2.5. CONCLUSÕES.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>2.6. REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>3. ARTIGO 2 – Fatores motivadores e inibidores para a implantação das tecnologias da indústria 4.0 no ambiente da manufatura.....</b> | <b>38</b> |
| <b>3.1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>39</b> |
| <b>3.2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>3.2.1. Indústria 4.0 e suas tecnologias na Manufatura .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>3.2.1.1. Sistemas Cyber Físicos – CPS (Cyber Physical Systems).....</b>   | <b>43</b> |
| <b>3.2.1.2. IoT – Internet das Coisas.....</b>   | <b>43</b> |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 3.2.1.3.  | M2M – Comunicação entre Máquinas .....                                      | 44 |
| 3.2.1.4.  | Análise de Big Data .....   | 45 |
| 3.2.1.5.  | Computação em Nuvem.....  | 45 |
| 3.2.1.6.  | Inteligência Artificial .....   | 46 |
| 3.2.1.7.  | Manufatura Aditiva .....  | 46 |
| 3.2.1.8.  | Realidade aumentada.....  | 47 |
| 3.2.1.9.  | Virtualização.....  | 47 |
| 3.2.1.10. | Identificação por Rádio Frequência – RFID.....                              | 48 |
| 3.2.1.11. | Robôs Autônomos.....  | 48 |
| 3.2.2.    | Fatores motivadores para implementação das tecnologias da Industria 4.0.    | 49 |
| 3.2.3.    | Fatores inibidores para implementação das tecnologias na Industria 4.0..... | 54 |
| 3.3.      | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....   | 59 |
| 3.4.      | RESULTADOS .....  | 62 |
| 3.5.      | DISCUSSÕES .....  | 68 |
| 3.5.1.    | Tecnologias x Fatores Motivadores.....                                      | 68 |
| 3.5.2.    | Barreiras x Fatores Motivadores.....  | 70 |
| 3.6.      | CONCLUSÕES.....   | 72 |
| 3.7.      | REFERÊNCIAS .....   | 74 |
|           | APÊNDICE A – Questionário aplicado no primeiro Artigo .....                 | 79 |
|           | APÊNDICE B – Questionário aplicado no segundo Artigo.....                   | 80 |
| 4.        | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 82 |
| 4.1.      | Discussão final sobre a proposta de dissertação .....                       | 82 |
| 4.2.      | Contribuições acadêmicas.....   | 83 |
| 4.3.      | Contribuições Práticas .....  | 84 |
| 4.4.      | Sugestões para estudos futuros.....   | 84 |
| 4.5.      | Referências .....   | 85 |

## 1. INTRODUÇÃO

A manufatura tem evoluído constantemente com o passar dos tempos, tradicionalmente refere-se a um processo industrial de produção, onde a matéria-prima é transformada em produtos acabados (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016). Entretanto, com a alta competição em mercados onde as margens são cada vez mais escassas e os prazos são cada vez menores, é preciso acompanhar a evolução da tecnologia e inovar constantemente. Desta forma, a manufatura passa a ser vista como um conceito integrado em todos os níveis, desde fornecedor, passando pelo chão de fábrica e indo até o consumidor final. As evoluções tecnológicas da indústria tiveram fatores marcantes e disruptivos, formando divisores de eras bem definidos, as chamadas revoluções industriais (SCHUH et al., 2014). A primeira revolução industrial, foi baseada na mecanização da indústria e em teares mecânicos, a segunda revolução se deu com a utilização da energia elétrica para linhas de montagem tracionadas, surgiu com o Fordismo na década de 1920, já a terceira revolução foi marcada pela utilização da Tecnologia da Informação (TI) no chão de fábrica, datada da década de 1970, quando teve início o emprego de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), marcando também o início da automação industrial na manufatura. Finalmente, a quarta revolução industrial, conhecida como indústria 4.0, cujo conceito surgiu na Alemanha em 2011, trata da conectividade de toda a cadeia produtiva, indo desde a matéria-prima até o consumidor final, com uma rastreabilidade completa do produto e com retroalimentação pela cadeia, com o objetivo de otimização, redução de custo e melhoria contínua (BARTODZIEJ, 2017; BRETTEL; KLEIN; FRIEDERICHSEN, 2016; KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013; LIAO et al., 2016; SMIT et al., 2016). As três revoluções industriais prévias sempre trouxeram um aumento significativo de produtividade, embora com impacto maior no chão de fábrica. Contudo, na quarta revolução industrial este impacto é mais extenso, uma vez que atinge toda a cadeia, no que diz respeito à manufatura, afeta significativamente a produtividade dos processos produtivos, uma vez que pode apoiar os processos de tomada de decisões descentralizadas e com efeito preditivo (SCHUH et al., 2014).

Seja para modernizar seu parque produtivo instalado, seja para criar um projeto novo de manufatura, uma empresa deve sempre levar em conta todos os avanços tecnológicos atuais e emergentes, mesmo que não seja possível investir em todas as tecnologias, o projeto deve ser preparado para que estas sejam implementadas gradativamente sem altos custos de modificações ou sem perda de investimentos já realizados. Para tanto, é importante o domínio dos requisitos mínimos mais importantes para a manufatura, para que se possa relacioná-los às

tecnologias da indústria 4.0, de forma a entender quais tecnologias atendem quais requisitos. Com este propósito, diversos estudos da literatura se propõem a pesquisar as principais tecnologias relacionadas à indústria 4.0 e sua aplicação (GOMES et al., 2016; HOLDREN et al., 2011; JESCHKE et al., 2017; LIAO et al., 2016; UHLEMANN; LEHMANN; STEINHILPER, 2017; ZEZULKA et al., 2016). Entretanto, apesar de todos os avanços nas pesquisas sobre o assunto, a maior parte do conteúdo bibliográfico encontrado está focada nas definições conceituais da indústria 4.0, sua contextualização e abrangência no ambiente corporativo, bem como as estratégias de aplicação nos modelos de negócio. Apesar do avanço dos estudos sobre o assunto e da disponibilidade de informação acerca das tecnologias que definem a indústria 4.0, que servem de pilares para esta nova revolução industrial, tais como a Internet das Coisas ( IoT – *Internet of Things*) e os Sistemas Ciber-Físicos (CPS - *Cyber Physical Systems*) (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016), dentre outras, poucos têm se aprofundado na utilização destas tecnologias relacionadas aos requisitos mínimos de manufatura ou sobre as barreiras e motivações da implementação das mesmas, principalmente no contexto brasileiro.

As tecnologias relacionadas à indústria 4.0 vêm sendo aplicadas nas empresas, mas ainda de maneira isolada ou com interação limitada entre elas. Ao mesmo tempo que existem muitas vantagens que conseguem justificar a migração tecnológica, tais como ganhos em qualidade (WANG et al., 2016), produtividade (WANG et al., 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015), ergonomia (CARDOSO et al., 2017; SMIT et al., 2016) e tempo (CARDOSO et al., 2017; WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Existe também uma série de fatores inibidores ou limitadores para a implementação da inovação, sejam eles barreiras financeiras (CARDOSO et al., 2017; THEORIN et al., 2015; WANG et al., 2016), culturais (SMIT et al., 2016; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015), tecnológicas (BABICEANU; SEKER, 2016; THEORIN et al., 2015), ou educacionais (THEORIN et al., 2015; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015; WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

### **1.1. TEMA E OBJETIVOS**

O tema principal desta pesquisa é a implementação das tecnologias da indústria 4.0 na manufatura, abordando especificamente a percepção de empresas do setor industrial sobre os requisitos, fatores motivadores e barreiras para a implementação dessas tecnologias. A partir disso, o objetivo geral deste trabalho é identificar as principais tecnologias da indústria 4.0 que atendam aos requisitos mais importantes da manufatura e avaliar o estado de implementação destas tecnologias, além das barreiras e motivadores para esta implementação, considerando-se a experiência e vivência de profissionais atuantes na indústria brasileira.

Para atingir o objetivo geral da pesquisa, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Levantar nos estudos da literatura as principais tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis na manufatura, bem como seus fatores motivadores e inibidores;
- b) Identificar os requisitos de manufatura automotiva e sua importância na indústria do ponto de vista dos profissionais atuantes no mercado;
- c) Priorizar as tecnologias da indústria 4.0 a partir da sua relação com os requisitos de manufatura, no contexto da manufatura automotiva pesada;
- d) Avaliar a percepção de empresas do setor industrial, sobre os principais fatores motivadores e inibidores da implementação das tecnologias da indústria 4.0
- e) Analisar a relação entre o nível de aplicação das tecnologias da indústria 4.0 e os fatores motivadores e inibidores.

## **1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS**

A principal justificativa para o tema proposto está associada à relevância global da indústria 4.0 e também por se tratar de um assunto relativamente novo, tendo o seu conceito surgido em 2011 na Europa (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013) e nos Estados Unidos (JESCHKE et al., 2017), o que limita a disponibilidade de artigos na literatura. Os estudos mais aprofundados e a implementação já estão ocorrendo, principalmente nos países desenvolvidos mudando a maneira de se produzir produtos e de se relacionar com clientes, criando um novo modelo de negócios, baseado na conectividade e na flexibilidade (BABICEANU; SEKER, 2016; RENNUNG; LUMINOSU; DRAGHICI, 2016; WALL; JAGDEV; BROWNE, 2005). A migração para a quarta revolução industrial está sendo considerada como um caminho que inevitavelmente deve ser percorrido pelas empresas que quiserem se manter competitivas em um mercado onde a evolução é constante, sendo que sua própria sobrevivência está atrelada à adoção ou não destas novas tecnologias (GOMES et al., 2016; MDIC, 2016). Para continuar atuando em um mercado onde as exigências dos clientes são cada vez maiores, as margens são cada vez menores e a concorrência aumenta de forma exponencial, as empresas precisam acompanhar a evolução tecnológica. Esta tarefa será facilitada se os seus gestores tiverem conhecimento sobre o assunto, entendendo a relação entre as tecnologias e também as ameaças e oportunidades advindas destes novos conceitos, além de conhecerem ferramentas que facilitem a tomada de decisão.

Uma empresa que quer atualizar seu parque fabril instalado, ou mesmo quer desenvolver um novo projeto de manufatura, deverá levar em consideração o estado atual e futuro do desenvolvimento tecnológico, bem como quais requisitos são prioritários para manter a sua

estratégia de negócio. A escassez de informações sobre aplicações práticas da indústria 4.0 na manufatura bem como a falta de conhecimento sobre a relação destas tecnologias com os requisitos demandados pela indústria, de forma a mostrar claramente onde estão os principais ganhos e como pode-se minimizar impactos de riscos e custos na implementação, pode levar a decisões erradas ou mesmo à indecisão quanto à priorização dos investimentos em tecnologias que atendam ao maior número de requisitos, bem como os mais relevantes dentro do seu modelo de negócio.

Existem algumas interpretações distorcidas sobre os conceitos da indústria 4.0 e a utilização integrada das suas tecnologias na manufatura, enquanto a falta de estudos aprofundados, principalmente no Brasil, sobre o grau de maturidade da aplicação das tecnologias nos sistemas de manufatura, gera uma insegurança ainda maior no setor. Além disso, faltam fontes de pesquisa que mostrem claramente quais são os ganhos que possam motivar a migração para estas novas tecnologias e como potencializá-los. Tampouco os fatores inibidores são discutidos na indústria, nem formas de mitigação destas barreiras (CNI, 2016; GOMES et al., 2016).

Assim, essas lacunas descritas, bem como a importância e novidade do assunto indústria 4.0, e toda a evolução tecnológica e conceitual envolvida na implementação de suas tecnologias, justificam o presente estudo.

### **1.3. DELINEAMENTO DO ESTUDO**

Detalham-se nesta seção, os métodos de pesquisa e de trabalho utilizados para atingir os objetivos gerais e específicos da dissertação, definindo-se o método de pesquisa e o método de trabalho, além de apresentar um diagrama explicativo da estrutura da presente dissertação.

#### **1.3.1. Método de Pesquisa**

O presente estudo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada (GIL, 2009), pois trata de problemas específicos, quais sejam: a priorização das tecnologias relacionadas à indústria 4.0 e os fatores motivadores e inibidores para a implementação destas tecnologias. Do ponto de vista da abordagem, o estudo envolve pesquisa qualitativa e quantitativa, pois faz uso de técnicas de coleta de dados como entrevistas semiestruturadas, questionário fechado e ferramentas de análise de dados como análise de conteúdo e estatísticas descritivas, o que caracteriza o estudo como quali-quantitativo. Em relação aos objetivos, o estudo caracteriza-se como pesquisa exploratória, pois pretende proporcionar maior familiaridade com o tema da indústria 4.0 e suas tecnologias aplicadas na manufatura do ponto de vista de empresas do setor industrial.



Além disso, o trabalho caracteriza-se como pesquisa descritiva, pois visa coletar, usando um instrumento quantitativo, as percepções acerca da importância dos fatores motivadores e inibidores, além do nível de implementação das tecnologias nas empresas participantes da pesquisa. Quanto aos procedimentos utilizados, o estudo aborda pesquisa bibliográfica para levantar as tecnologias relacionadas à indústria 4.0, para verificar a aplicação destas tecnologias na manufatura e também para identificar os fatores motivadores e inibidores à implementação da indústria 4.0. Um estudo de caso em uma empresa do ramo metal mecânico, onde a correlação das tecnologias e os requisitos de manufatura pesada são priorizados para futura aplicação em um projeto de linha de montagem. Além disso, o trabalho faz uso de levantamento como procedimento, ao priorizar os requisitos da manufatura e avaliar a importância dos fatores motivadores e inibidores a partir de entrevistas com empresas participantes do estudo (GIL, 2009).

### **1.3.2. Método de Trabalho**

O método de trabalho proposto para alcançar os objetivos específicos e geral, foi desenvolvido em sete etapas, relacionadas com os dois estudos (artigos) desenvolvidos neste trabalho, conforme descrito a seguir. Na primeira etapa foi realizado o levantamento das principais tecnologias da indústria 4.0 e dos requisitos da manufatura na indústria automotiva, a partir de uma pesquisa bibliográfica; na segunda etapa de pesquisa foi realizada a validação e priorização dos requisitos da manufatura para a indústria automotiva, a partir de entrevista. A terceira etapa abordou a identificação do relacionamento entre os requisitos de manufatura automotiva e as tecnologias da Indústria 4.0, a priorização das tecnologias da Indústria 4.0 para o contexto de uma empresa de manufatura automotiva pesada e correlação entre as tecnologias, a partir do uso da abordagem QFD (do inglês, *Quality Function Deployment*) e consulta a especialistas. Estas primeiras três etapas permitiram gerar o primeiro artigo da dissertação.

Na quarta etapa foi realizado o levantamento dos fatores inibidores e motivadores para a implementação das tecnologias da indústria 4.0 na manufatura, a partir de uma revisão bibliográfica. A quinta etapa abordou a construção do instrumento de pesquisa para coletar a opinião de profissionais atuantes na indústria, acerca do nível de implementação das tecnologias da indústria 4.0, bem como a importância das tecnologias e dos fatores inibidores e motivadores levantados através da pesquisa bibliográfica. Na sexta etapa foi aplicado o instrumento de coleta de dados com profissionais atualmente atuantes em diversos setores da indústria, no Brasil. Finalmente, a sétima etapa de pesquisa abordou a análise dos resultados gerados do estudo, a

partir de estatística descritiva e análise de regressão. Estas últimas quatro etapas compõem o segundo artigo da dissertação. O detalhamento destas etapas é feito nos artigos apresentados nos capítulos 2 e 3.

**Objetivo Geral: Identificar as principais tecnologias da indústria 4.0 que atendam aos requisitos mais importantes da manufatura e avaliar o estado de implementação destas tecnologias, além das barreiras e motivadores para esta implementação.**

|                 | Obj. Específicos  | Etapa   | Metodologia                             | Abordagem          |
|-----------------|---|---|---|--------------------|
| <b>Artigo 1</b> | Determinar as principais tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis na manufatura  | 1 - Levantamento das principais tecnologias da indústria 4.0 e dos requisitos da manufatura na indústria automotiva   | Pesquisa bibliográfica                  | Qualitativa        |
|                 | Identificar os requisitos de manufatura automotiva e sua importância na indústria   | 2 - Validação e priorização dos requisitos da manufatura para a indústria automotiva  | Survey - Questionário Fechado           |                    |
|                 | Priorizar as tecnologias da indústria 4.0 a partir da sua relação com os requisitos de manufatura   | 3 - Priorização das tecnologias da Indústria 4.0 utilizando QFD modificado, um estudo de caso e consulta a especialistas.   | Estudo de caso, Ferramenta QFD adaptada |                    |
| <b>Artigo 2</b> | Levantar os fatores motivadores e inibidores para a implementação das tecnologias da Ind. 4.0.  | 4 - Pesquisa bibliográfica sobre os fatores inibidores e motivadores para as tecnologias da indústria 4.0 na manufatura.  | Pesquisa bibliográfica                  | Quali-Quantitativa |
|                 | Avaliar a percepção de empresas do setor industrial, sobre os principais fatores motivadores e inibidores da implementação das tecnologias da indústria 4.0 | 5 - construção do instrumento de pesquisa para coletar a opinião de profissionais atuantes na indústria.<br>6 - Levantamento do nível de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 e nível de importância dos fatores. | Survey - Questionário Fechado           |                    |
|                 | Analisar estatisticamente a influência entre o nível de aplicação das tecnologias da indústria 4.0 e os fatores motivadores e inibidores                    | 7 - Análise dos resultados gerados do estudo, a partir de estatística descritiva e análise de regressão.  | Análise estatística                     |                    |

Quadro 1 – Estrutura da dissertação

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

#### 1.4. DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Embora o conceito indústria 4.0 seja abrangente e possa ser estendido para toda a cadeia de negócios em um conceito de integração *end-to-end* (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013; SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014), que vai desde o fornecedor primário até o consumidor final, o presente estudo está delimitado da seguinte forma:

O primeiro artigo aborda o tema no contexto da manufatura automotiva pesada, por ter sido proposto para aplicação prática através de um estudo de caso em uma empresa do ramo, além disso, os requisitos levantados e validados através de pesquisa foram discutidos no âmbito

da manufatura automotiva, considerando-se profissionais atuantes neste setor. A generalização dos resultados obtidos para outros contextos da indústria pode requerer adaptações.

O segundo artigo aumentou a abrangência para a indústria de manufatura brasileira e correlatos (fornecedores de serviços para a indústria), de forma que o estudo de aplicação das tecnologias, bem como seus fatores motivadores e inibidores estão considerados dentro deste perímetro. Contudo, baseado no universo de respondentes, não abordou todos os segmentos industriais, ficando mais concentrado na indústria automotiva e metalmeccânica, enquanto geograficamente, os participantes do estudo atuam em empresas localizadas principalmente na região sul do país. Desta forma, os resultados não podem ser generalizados para o contexto todo da manufatura brasileira.

Obviamente a expansão dos conceitos aprendidos neste trabalho e aplicação ao longo de toda a cadeia de fornecimento ou até mesmo fora do contexto da manufatura pode ser aplicada, desde que se conheça o ambiente que se quer aplicar. Além disso, os modelos de análises e técnicas utilizados podem ser aplicáveis para futuros estudos em outros ambientes de negócios.

## **1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho é estruturado no formato de artigos científicos. Desta forma, a dissertação é composta de quatro capítulos. No primeiro capítulo, atual seção do trabalho, apresenta-se uma introdução ao tema abordado na dissertação, destacando a relevância e pouco conhecimento científico do assunto, principalmente no Brasil. Neste capítulo também são introduzidos os objetivos gerais e específicos do trabalho, o método de trabalho, as delimitações do estudo e a estrutura do mesmo.

O primeiro artigo, que faz parte do tema central da dissertação, é apresentado no segundo capítulo, contendo um estudo da priorização das tecnologias da indústria 4.0, relacionando-as aos requisitos de manufatura, usando uma abordagem adaptada do QFD.

O terceiro capítulo apresenta o segundo artigo, que também faz parte do tema central da dissertação, apresenta inicialmente uma revisão bibliográfica sobre a aplicação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0 na manufatura, bem como seus fatores motivadores e inibidores, onde se propõe verificar a relação entre os fatores motivadores e as tecnologias bem como entre os fatores motivadores e os fatores inibidores. Este artigo apresenta também uma pesquisa realizada com profissionais atuantes na indústria, analisando seus resultados.

O quarto e último capítulo apresenta as discussões e conclusões decorrentes do trabalho desenvolvido, correlacionando-as com as delimitações da pesquisa e com a literatura, focando nos objetivos gerais e específicos. Procura-se mostrar neste capítulo também a relevância do estudo, dos resultados obtidos e dos modelos propostos, para as áreas industriais e acadêmicas, bem como a continuidade e expansão do assunto em trabalhos futuros.

## 1.6. REFERÊNCIAS

- BABICEANU, Radu F.; SEKER, Remzi. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 81, p. 128–137, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>>
- BARTODZIEJ, Christoph Jan. **The Concept Industry 4.0**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-16502-4>>
- BRETTEL, Malte; KLEIN, Manuel; FRIEDERICHSEN, Niklas. The Relevance of Manufacturing Flexibility in the Context of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 41, p. 105–110, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.047>>
- CARDOSO, Wagner et al. Digital manufacturing, industry 4.0, cloud computing and thing internet: Brazilian contextualization and reality. **Independent Journal of Management & Production**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 459, 2017. Disponível em: <<http://www.ijmp.jor.br/index.php/ijmp/article/view/572>>
- CNI. **Desafios para indústria 4.0 no Brasil**. Brasília, Brazil.
- ESMAEILIAN, Behzad; BEHDAD, Sara; WANG, Ben. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 39, p. 79–100, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>>
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. [s.l: s.n.].
- GOMES, Jefferson de Oliveira et al. Desafios para indústria 4.0 no Brasil. **Confederação Nacional da Indústria**, Brasília, Brazil, n. INDÚSTRIA 4.0, p. 34, 2016.
- HOLDREN, John P. et al. Report To the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing. **PCAST: President’s Council of Advisors on Science and Technology**, [s. l.], p. 0–56, 2011. Disponível em: <<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>>
- JESCHKE, Sabina et al. Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems. In: [s.l.] : **Springer International Publishing**, 2017. p. 3–19.
- KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, J; Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 WG**, [s. l.], n. April, p. 82, 2013.
- LIAO, Yongxin et al. Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 7543, n. March, p. 0–21, 2016.
- MDIC. Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil. **MDIC**, [s. l.], 2016.
- QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. In: **PROCEDIA CIRP 2016, Anais...** [s.l: s.n.]
- RENNUNG, Frank; LUMINOSU, Caius Tudor; DRAGHICI, Anca. Service Provision in the Framework of Industry 4.0. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 221, p. 372–377, 2016. Disponível em:

<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042816302002>>

SCHUH, Günther et al. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 19, n. C, p. 51–56, 2014. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016>>

SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, [s. l.], v. 2015–Janua, p. 697–701, 2014.

SMIT, William (DBSC Consulting) et al. Industrial Internet of Things. [s. l.], p. 23, 2016. Disponível em: <<https://insights.abnamro.nl/2016/02/industrial-internet-of-things/>>

THEORIN, Alfred et al. An event-driven manufacturing information system architecture. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 547–554, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1201604>>

UHLEMANN, Thomas H. J.; LEHMANN, Christian; STEINHILPER, Rolf. The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 61, p. 335–340, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>>

WALL, B.; JAGDEV, H.; BROWNE, J. An approach to developing an eBusiness roadmap. **Production Planning & Control**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 701–715, 2005.

WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 37, n. April 2016, p. 517–527, 2015.

WANG, Shiyong et al. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, [s. l.], v. 2016, 2016.

WELLER, Christian; KLEER, Robin; PILLER, Frank T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 164, p. 43–56, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.020>>

ZEZULKA, F. et al. Industry 4.0 - An Introduction in the phenomenon. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 49, n. 25, p. 8–12, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.002>>

## **2. ARTIGO 1 – Requisitos de manufatura automotiva pesada no contexto da indústria 4.0**

Uma versão resumida deste artigo foi apresentada no 11º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP

### **RESUMO**

A Indústria 4.0, como definida nos países europeus ou Industrial Internet of Things, como conhecida nos Estados Unidos, já é uma realidade no meio industrial, mesmo não sendo aplicada em sua plenitude. O advento da internet das coisas, IoT (Internet of Things), permite a interconectividade de sistemas, de modo que a informação se transmita sem a necessidade da intervenção humana, sendo possível uma agilidade muito maior em toda a cadeia. Uma indústria que está preparando um projeto de manufatura, não deveria desenhar suas linhas de montagem sem antes entender como a indústria está se comunicando no momento e como será a evolução nos próximos anos. O objetivo do presente estudo é levantar os requisitos necessários para o processo de implementação da Indústria 4.0 no âmbito da manufatura automotiva pesada. Para isso, o estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica sobre o tema Indústria 4.0, do levantamento dos requisitos da indústria automotiva pesada e da priorização destes, a partir do relacionamento com as tecnologias vinculadas à Indústria 4.0, utilizando uma abordagem adaptada da ferramenta Quality Function Deployment (QFD). Os requisitos de manufatura foram validados com especialistas da indústria automotiva que também contribuíram para a priorização dos mesmos quanto ao seu grau de importância. A ferramenta conseguiu mostrar que algumas tecnologias da Indústria 4.0 apresentaram um grau de priorização muito maior relacionado às demais, sendo mandatórias para um projeto de manufatura. Desta forma, o presente trabalho contribui com o estudo voltado ao desdobramento dos princípios da Indústria 4.0 em requisitos de manufatura, que possam ser utilizados no projeto de uma nova linha de montagem automotiva pesada e, além disso, que possam contribuir para a literatura sobre Indústria 4.0, preenchendo algumas lacunas teóricas.

Keywords: Indústria 4.0, Industrial Internet of Things, IIOT, Manufatura automotiva, QFD.

## 2.1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 já é uma realidade no meio industrial, mesmo não sendo aplicada em sua plenitude ou não sendo metodologicamente documentada, pelo fato de ser um conceito relativamente novo. Existem ainda muitas dúvidas quanto à implementação da Indústria 4.0, em função da falta de clareza dos benefícios reais de tal implementação e pela necessidade de investimentos altos. Também não está clara a definição de padrões em termos de *hardware*, *software* e, principalmente, protocolo de comunicações (LIAO et al., 2016), além de apresentar vários desafios relativos à regulamentação, segurança, padronização e formação profissional.

Uma indústria que está preparando um projeto de manufatura para montagem de veículos não deveria desenhar suas linhas de montagem sem antes entender como a indústria está se comunicando no momento e como será a evolução nos próximos anos. Então, mesmo sem o recurso para implementar o que existe em alta tecnologia, o projeto de manufatura deve ser pensado conforme os preceitos da Indústria 4.0, para que possa acompanhar a evolução e conforme expansões futuras forem ocorrendo, ou à medida que o mercado automotivo brasileiro reaja, seja possível implementar equipamentos adequados à tecnologia atual, sem custos de retrabalhos ou alterações de layout ou de produto.

Com a competitividade e em tempos de crise, surge a necessidade de um diferencial competitivo nas organizações. Neste contexto, a aplicação de novas tecnologias de informação, organização e logística em um sistema moderno de negócios, resulta em: novas maneiras de produção; novas maneiras de fazer negócios e melhores serviços na esfera da produção industrial; que proporcionam uma nova era industrial, conectando manufaturas e clientes através da informação e comunicação (HOZDÍĆ, 2015). O ganho em redução de custos da não qualidade será significativo, se uma empresa optar por ter uma rastreabilidade completa de toda a cadeia produtiva e, assim, assegurar a informação rápida e precisa a seus clientes sobre o produto adquirido. Além disso, com a manutenção preditiva, a flexibilidade da manufatura e a disponibilidade das informações em tempo real, é possível a redução de custos, de estoques e do tempo de entrega, melhorando a competitividade e o desempenho da empresa (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013).

Considerando os benefícios da Indústria 4.0 para a manufatura, este artigo tem como objetivo levantar quais são as tecnologias relacionadas a este fenômeno e relacioná-las com os requisitos da manufatura do setor automotivo pesado. Entende-se por manufatura automotiva pesada, a montagem de caminhões, implementos, tratores e outros veículos pesados, onde os



volumes baixos, o *mix* e a robustez dos equipamentos tornam o processo produtivo menos flexível e com menor nível de automação do que a manufatura de veículos leves, que possui escala maior e tem possibilidade de linhas dedicadas. Pela utilização de uma adaptação da ferramenta QFD, os requisitos do setor automotivo, identificados a partir de uma pesquisa com profissionais, e as tecnologias da Indústria 4.0, levantadas a partir de uma revisão bibliográfica, são relacionados e priorizados. Assim, este artigo está dividido em 5 seções: a seção 1 apresenta a introdução, a seção 2 apresenta o referencial teórico, a seção 3, a metodologia aplicada no artigo, a seção 4 mostra os resultados da aplicação da ferramenta QFD modificada e a seção 5 as conclusões finais do artigo.

## 2.2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.2.1. Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é uma iniciativa de origem alemã, que visa à integração de sistemas de operação na manufatura com tecnologias de informação e comunicação (TIC), formando sistemas ciberfísicos (CPS) de produção (JESCHKE et al., 2017; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). A Indústria 4.0 é orientada ao desenvolvimento de processos e produtos inteligentes (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013) e, para alguns pesquisadores e profissionais, é considerada como o início da quarta revolução industrial (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; SALDIVAR et al., 2015). Iniciativas com objetivos similares ao da Indústria 4.0 foram desenvolvidas em outros países, como o ‘*Advanced manufacturing*’ nos Estados Unidos e o programa *Made in China 2025*, na China (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013). Ainda, alguns pesquisadores preferem adotar o termo *Industrial Internet of Things* (SMIT et al., 2016), por estar semanticamente mais relacionado ao desenvolvimento tecnológico, enquanto a Indústria 4.0 se refere também ao impacto econômico esperado com tal desenvolvimento (JESCHKE et al., 2017). Por este motivo, neste artigo será utilizado o termo Indústria 4.0.

A iniciativa alemã é caracterizada por três conceitos principais: integração vertical, integração horizontal e *end-to-end engineering* (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). A integração vertical refere-se à integração de sistemas de tecnologia de informação (TI) em diferentes níveis hierárquicos de uma organização, que na fábrica é representada pelo nível de produção até o nível de gerenciamento (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013). A integração horizontal consiste na colaboração entre empresas dentro de uma cadeia de suprimentos, com

troca de recursos e/ou informações (BRETTEL; FRIEDERICHSEN; KELLER, 2014). *End-to-end engineering* é a integração de engenharia em toda a cadeia de valor de um produto, desde o seu desenvolvimento até o pós-venda (BRETTEL; FRIEDERICHSEN; KELLER, 2014; GILCHRIST, 2016; KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013). Dessa forma, segundo Kagermann et al. (2013), são possíveis novos potenciais à indústria, como o desenvolvimento e fornecimento de produtos customizáveis, em pequenos lotes; flexibilidade nas linhas de produção; transparência de processos, auxiliando na tomada de decisões; aumento de produtividade e eficiência; novas oportunidades de modelos de negócio.

No Brasil, apesar de existirem iniciativas do governo quanto à difusão do conceito da Indústria 4.0 em empresas do setor industrial, poucas empresas entendem o potencial dos benefícios que as tecnologias podem gerar. Além da pouca utilização das tecnologias, a maioria das empresas brasileiras não consegue identificar as tecnologias que podem influenciar na sua competitividade no mercado (CNI, 2016). Uma *survey* levantada por PWC (2016), mostra que poucas empresas brasileiras apresentaram um nível avançado de digitalização em seus processos, sendo este necessário para a Indústria 4.0. Porém, apesar do desconhecimento das tecnologias e do nível de digitalização, as empresas brasileiras esperam maiores investimentos em tecnologias digitais nos próximos anos, com retorno em ganho de eficiência, redução de custos operacionais e receitas adicionais.

### **2.2.2. Tecnologias da Indústria 4.0 para manufatura**

A Indústria 4.0 consiste na integração de diversas tecnologias digitais, que teve seu início na adoção de tecnologias de informação e comunicação (TIC) nas fábricas e com a utilização de sensores em equipamentos e produtos (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013). Com o advento da internet das coisas (IoT), foi possível a interconectividade de sistemas e objetos, de modo que a informação se transmita sem a necessidade de intervenção humana. Outras tecnologias também são essenciais no contexto de *smart factories*, tais como o *cloud computing* e *big data analytics*, permitindo que o mundo real e o virtual estejam integrados na forma de sistemas ciberfísicos (CPS). Ainda, embora considerada uma tecnologia adicional, por não ser totalmente interdependente quanto às primeiras, a manufatura aditiva, que trata da impressão 3D, pode ser um grande diferencial para a customização de produtos nas fábricas, que é um dos objetivos da Indústria 4.0 (HOZDIĆ, 2015; SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014).

Os CPS em *smart factories* possibilitam o monitoramento e controle do sistema

produtivo, no qual uma grande quantidade de dados é coletada e analisada por ferramentas avançadas (*big data analytics*), que geram e atualizam modelos virtuais dos objetos físicos nos processos produtivos (GILCHRIST, 2016; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). Estes sistemas funcionam de forma descentralizada, operacionalizando processos com alta complexidade, promovendo a comunicação entre as máquinas e a identificação dos produtos nos processos por *Radio Frequency Identification* (RFId) (BRETTEL et al. 2014). Dessa forma, resultam em uma agilidade muito maior em toda a cadeia, em que os produtos carregam o conhecimento do seu histórico e *status* atual e sobre o ambiente em que ele está inserido (HOZDÍĆ, 2015; SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014). Além das já citadas, outras tecnologias fazem parte do conceito da Indústria 4.0, possibilitando diversos potenciais à indústria. O Quadro 2 lista estas tecnologias, assim como suas descrições.

**Quadro 2 – Tecnologias da Indústria 4.0. Fonte: Autores.**

| <b>Tecnologia</b>         | <b>Definição</b>  | <b>Referências</b>                                      |
|---------------------------|---|---|
| Sistemas Ciberfísicos     | Integração entre computação e processos físicos (WANG, TÖRNGREN; ONORI, 2015).  | (KAGERMANN et al, 2013, BRETTEL et al, 2014)            |
| Internet das coisas       | Comunicação <i>wireless</i> integrada com sensores e processadores, possibilitando a identificação de objetos e fornecimento de dados na <i>internet</i> com limitada ou nenhuma interação humana (WANG, TÖRNGREN e ONORI, 2015). | (KAGERMANN et. al, 2013; WANG, TÖRNGREN e ONORI, 2015)  |
| <i>Big data analytics</i> | Coleta, armazenamento e análise de dados (BABICEANU e SEKER, 2016).   | (KAGERMANN et. al, 2013; WANG, TÖRNGREN e ONORI, 2015); |
| <i>Cloud computing</i>    | Modelo que permite o acesso ubíquo para recursos computacionais configurados (JESHCKE et. al, 2017).  | (KAGERMANN et. al, 2013; WANG, TÖRNGREN e ONORI, 2015)  |

|  |  |   |
|--|--|---|
| Inteligência artificial                      | Desenvolvimento de máquinas inteligentes com algum nível de sentido cognitivo (GILCHRIST, 2016).   | (WANG et. al, 2016; GILCHRIST, 2016)      |
| Manufatura aditiva                           | Impressão 3D de protótipos ou produtos, possibilitando a produção de produtos customizados em pequenos lotes (GILCHRIST, 2016).  | (KAGERMANN et. al, 2013; GILCHRIST, 2016) |
| Realidade aumentada                          | Combinação da cena real visualizada pelo usuário com uma cena virtual gerada por computador que aumenta a cena com informações adicionais (ELIA; GNONI; LANZILOTTO, 2016). | (GILCHRIST, 2016; PAELKE, 2014)           |
| Virtualização                                | A partir de dados obtidos por sensores, são criadas cópias virtuais de objetos, por simulação (BABICEANU e SEKER, 2016; GILCHRIST, 2016).                                  | (GILCHRIST, 2016; BRETTEL et. al, 2014)   |
| Cibersegurança                               | Privacidade, confidencialidade e integridade de dados digitais armazenados e/ou transmitidos por rede interna ou pela Internet (BABICEANU e SEKER, 2016).                  | (BABICEANU; SEKER, 2016; GILCHRIST, 2016) |
| <i>Radio frequency Identification</i> (RFID) | Identificador de produtos em uma rede <i>wireless</i> , permitindo a conectividade destes (HOZDIĆ, 2015)   | (BRETTEL et. al, 2014; HOZDIĆ, 2015)      |
| Robôs autônomos                              | Robôs auto-suficientes, autônomos e interativos trabalhando em colaboração com humanos.  | (GILCHRIST, 2016)                         |

### 2.2.3. Requisitos de manufatura na indústria automotiva

Em uma revisão bibliográfica sistemática sobre o assunto (LIAO et al, 2017), foram analisados 224 artigos onde 103 trouxeram aplicações práticas, sendo que destes apenas dois trataram diretamente a aplicação da Indústria 4.0 na manufatura automotiva. Ainda, estes dois trabalhos abordam o assunto de forma tangencial ou focada em um determinado processo, sendo no plano estratégico de desenvolvimento de produto (FLATSCHER; RIEL, 2016) ou na automação de uma célula de soldagem (TUOMINEN, 2016). Assim, fica evidente a escassez de pesquisas nesta área.

A indústria automotiva tem sido considerada por muito tempo uma indústria de grande porte, competitiva, com fortes ligações com outras instituições e de relevante impacto na economia e sociedade das nações. Esta é uma das razões pelas quais os métodos, princípios e paradigmas foram desenvolvidos nesta indústria (HENRIKSEN; ROLSTADÅS, 2010). No entanto, com o aumento da concorrência e incerteza no mercado, a indústria automotiva precisa ter uma postura proativa e adaptável a um ambiente cada vez mais complexo e em constante mudança. Neste sentido, princípios oriundos do *Total Quality Management* (TQM) e *Lean Manufacturing*, dentre outros, podem ser identificados na literatura como requisitos de manufatura na indústria, necessários para melhorar a competitividade e o desempenho empresarial em ambientes competitivos e dinâmicos. Os principais requisitos de manufatura aplicáveis à indústria automotiva foram levantados na literatura e são apresentados na primeira coluna do Quadro 4, na seção 4.

## 2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo pode ser caracterizado como pesquisa aplicada, qualitativa e exploratória, adotando-se como procedimentos a pesquisa bibliográfica, o estudo de caso e uma adaptação da ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD), que é utilizada para trazer a voz do cliente no desenvolvimento de processos e produtos (AHMED; AMAGOH, 2010; PRASAD, 1998).

Para alcançar os objetivos da pesquisa, as seguintes etapas foram realizadas: (i) pesquisa bibliográfica; (ii) priorização dos requisitos da manufatura para a indústria automotiva; (iii) identificação do relacionamento entre os requisitos de manufatura automotiva e as tecnologias

da Indústria 4.0; e (iv) priorização das tecnologias da Indústria 4.0 para o contexto de uma empresa de manufatura automotiva pesada.

A pesquisa bibliográfica foi realizada com o objetivo de identificar as tecnologias da Indústria 4.0 e os principais requisitos de manufatura na indústria automotiva. Para isto, foram consultadas as bases internacionais *Web of Science* e *Science Direct*. Para a validação e priorização dos requisitos, primeiramente foi elaborada uma lista preliminar de potenciais requisitos de manufatura, que foi validada por três profissionais do setor de manufatura automotiva pertencentes à empresa do estudo de caso, ficando uma lista definitiva de 20 itens.

Esta lista foi submetida em forma de questionário de pesquisa a 60 profissionais do mercado sendo em sua grande maioria, engenheiros, gerentes e diretores das áreas de manufatura automotiva, com a solicitação de priorização conforme sua importância, atribuindo valores de 1 a 5, sendo 5 o mais importante, considerando-se como premissas a criação de um projeto de manufatura a partir do zero e um *upgrade* na área de manufatura da sua empresa. Foram obtidas 42 respostas de profissionais da indústria, cujos perfis são demonstrados no Quadro 3. Estas respostas possibilitaram a validação e priorização dos requisitos propostos. Ainda, com base no feedback dos respondentes, foi criado o requisito ‘competências da equipe’, que foi adicionado à lista inicial priorizada.

**Quadro 3 – Perfil dos respondentes da pesquisa. Fonte: Autores.**

| Setor da indústria  | Qtde | Experiencia      | Qtde | Posição    | Qtde |
|---------------------|------|------------------|------|------------|------|
| Automotivo - Tier 1 | 23   | Até 10 anos      | 7    | Engenheiro | 17   |
| Automotivo - OEM    | 9    | 10 a 15 anos     | 15   | Supervisão | 7    |
| Agrobusiness        | 4    | 15 a 20 anos     | 11   | Gerencia   | 13   |
| Linha Branca        | 3    | 20 a 25 anos     | 3    | Diretoria  | 5    |
| Automotivo - Tier 2 | 2    | acima de 25 anos | 6    |            |      |
| Courocalçadista     | 1    |                  |      |            |      |

Para a priorização estratégica dos requisitos de manufatura, foi utilizado como estudo de caso a Empresa Foton Aumark do Brasil – Foton Caminhões, cujo processo de *start up* iniciou em Caxias do sul, na Fábrica da Agrale. SA. , através de um contrato de manufatura, onde será realizada a montagem dos caminhões da marca, durante o período de construção e montagem da fábrica que ficará situada em Guaíba – RS. Esta empresa tem como objetivo construir a nova fábrica cujos processos de manufatura devem seguir os preceitos da Indústria 4.0.

A partir da importância atribuída por cada respondente às demandas de manufatura, foi calculado o peso de cada demanda pela média geométrica das respostas, obtendo um índice de

importância (IDi). Conforme equação 1, este índice foi corrigido, levando em consideração a avaliação estratégica de cada requisito para a empresa em estudo (Ei), feita pela sua diretoria considerando-se uma escala de 0,5 até 2, sendo: 0,5 – Importância pequena; 1,0 – importância média; 1,5 – importância grande e 2,0 – Importância muito grande, gerando o índice de importância corrigido (IDi\*), conforme a seguinte equação:

$$IDi^* = \sqrt{Ei} \times IDi \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

IDi: Índice de importância (classificado pelos respondentes);

Ei: Índice de avaliação estratégica (Classificado pela Diretoria da Empresa);

IDi\*: Índice de importância corrigido pela equação 1.

Na terceira etapa, foi identificado o relacionamento entre as demandas de manufatura identificadas e as tecnologias relacionadas aos princípios da Indústria 4.0, a partir de uma matriz no QFD, na qual os itens demandados são cruzados com as tecnologias descritas anteriormente e são estabelecidas as intensidades dos relacionamentos. A equipe de pesquisa, formada pelo autor e 3 pesquisadores especialistas em Indústria 4.0, definiu as intensidades do relacionamento entre os itens demandados e as tecnologias (DTij), seguindo uma escala de 1, 3 e 9, sendo 9 uma relação forte, 3 uma relação média e 1 uma relação fraca, (AKAO, 1990).

Na quarta etapa, foi realizada a priorização das tecnologias da Indústria 4.0 a partir da importância dos requisitos da manufatura e do seu relacionamento com as tecnologias. Primeiramente, foi determinada a importância das tecnologias da Indústria 4.0 (ITj), a partir do índice de importância corrigido das demandas (IDi\*) e da intensidade do relacionamento entre os itens demandados e as tecnologias (DTij), conforme definido na equação 2:

$$ITj = \sum_{i=1}^n IDi * x DTij \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

ITj: Importância das Tecnologias da Industria 4.0;

IDi\*: índice de importância dos requisitos de manufatura, avaliados pela pesquisa e corrigidos através da atribuição de um peso estratégico;

DTij: intensidade do relacionamento entre os requisitos de manufatura e as tecnologias da Indústria 4.0, conforme especialistas da academia.

A importância das tecnologias da Indústria 4.0 (ITj) é corrigida realizando-se uma avaliação da dificuldade de implementação, tendo em vista a disponibilidade de fornecedores para as tecnologias citadas e os custos de implementação das tecnologias pela empresa em estudo, feita pela sua diretoria considerando-se uma escala de 0,5 até 2, sendo: 0,5 – Implementação mais difícil ou tecnologia mais cara e 2,0 – Implementação mais fácil ou custo mais acessível. A estimação destas avaliações foi realizada a partir do conhecimento dos diretores da empresa. Desta forma, obteve-se as tecnologias da Indústria 4.0 priorizadas para o contexto da manufatura automotiva pesada em estudo (ITj\*), dada pela seguinte equação:

$$ITj * = ITj \times \sqrt{Bj} \times \sqrt{Dj}$$

Onde:

Dj: Índice de dificuldade de implementação das tecnologias da Indústria 4.0;

Bj: índice de custo de implementação;

ITj\*: Priorização das tecnologias da Indústria 4.0 para a manufatura automotiva

## 2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os critérios de relacionamento entre as tecnologias da Indústria 4.0 e os requisitos de manufatura, definidos com base na literatura e experiência da equipe de pesquisa, são apresentados na Figura 1 e analisados a seguir.

Primeiramente, os sistemas ciberfísicos (CPS), internet das coisas (IoT), *big data analytics* e *cloud computing*, são tecnologias que estão extremamente interligadas e são bastante dependentes entre si, o que justifica avaliações similares em relação aos requisitos de manufatura. Entretanto, para a análise no contexto atual, considerou-se um relacionamento menor da tecnologia *cloud computing*, pela possibilidade de armazenamento de dados internamente via dispositivos físicos, definindo um relacionamento forte desta tecnologia somente com aqueles requisitos que preveem compartilhamento de dados. Por outro lado, a *virtualização*, considerando a digitalização dos processos para posterior simulação, análises e tomadas de decisão, foi considerada uma ferramenta muito importante de planejamento, tendo um relacionamento muito forte com a maioria dos requisitos. A virtualização também possui forte relação com os CPS, pois é necessária para habilitar estes, o que justifica sua importância.

Os *robôs autônomos* apresentaram um relacionamento forte com todos aqueles requisitos de manufatura que visam minimizar ou evitar erro, reduzir desperdícios, aumentar a



produtividade ou melhorar a condição ergonômica do operador. Ainda, a *inteligência artificial*, considerando máquinas e equipamentos dotados de um nível de inteligência, teve um relacionamento maior com requisitos voltados para agilidade, produtividade e redução de desperdícios de forma autônoma. Por outro lado, a *realidade aumentada*, pelo fato de conseguir mesclar o real com o virtual, foi avaliado com importância maior com relação aos requisitos de manufatura, treinamento e segurança do operador.

De forma separada, a *manufatura aditiva* possibilita o ganho em tempo de desenvolvimento de produtos novos com a prototipagem rápida, a um custo muito menor que a utilização de processos tradicionais de prototipagem, além da possibilidade de produzir peças de produção com a utilização desta tecnologia. Portanto, os requisitos que dizem respeito à flexibilidade, agilidade e redução de custos tiveram um relacionamento forte com esta tecnologia. A *Radio frequency Identification* (RFID), por ser uma tecnologia voltada principalmente para a rastreabilidade, incluindo produtos em deslocamento, foi considerada relevante para os requisitos de manufatura que dizem respeito às movimentações de matéria-prima e de produto, controle de características críticas e minimização ou eliminação de erros. Finalmente, a *Cibersegurança*, apesar de ser uma tecnologia bastante citada na literatura, apresentou um relacionamento forte somente com requisitos de segurança e compartilhamento de dados, principalmente envolvendo *cloud computing*.

**Figura 1 – Priorização das tecnologias da Indústria 4.0 conforme os requisitos de manufatura automotiva. Fonte: Autores.**

| Tecnologias da Indústria 4.0 \ Requisitos de Manufatura   | Sistemas Ciberfísicos | Big Data analytics | Virtualização | Internet das coisas | Cloud computing | Realidade aumentada | Robôs autônomos | Inteligência artificial | Manufatura aditiva | Cybersecurity | RFID | Idi     | Ei   | IDI* |
|---|-----------------------|--------------------|---------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------|------|---------|------|------|
|   | Produtividade         | ●                  | ●             | ●                   | ●               | ○                   | ○               | ●                       | ●                  | ○             | ○    | ○       | 4.71 | 2.00 |
| Sistemas à prova de erro (Pokayoke)                       | ●                     | ○                  | ○             | ●                   | ○               | ○                   | ●               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.67    | 2.00 | 6.60 |
| Redução de desperdícios                                   | ●                     | ●                  | ●             | ●                   | ○               | ○                   | ●               | ●                       | ●                  | ○             | ○    | 4.49    | 2.00 | 6.35 |
| Segurança e ergonomia no ambiente de trabalho             | ●                     | ○                  | ●             | ●                   | ○               | ○                   | ●               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.49    | 2.00 | 6.35 |
| Controle de características críticas                      | ●                     | ○                  | ○             | ●                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.44    | 2.00 | 6.29 |
| Rastreabilidade do Processo                               | ●                     | ●                  | ●             | ●                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.07    | 2.00 | 5.75 |
| Competências da equipe                                    | ○                     | ●                  | ●             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.57    | 1.50 | 5.60 |
| Baixo índice de rejeição/retrabalho                       | ●                     | ○                  | ●             | ●                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.42    | 1.50 | 5.42 |
| Rastreabilidade do Produto                                | ●                     | ●                  | ●             | ●                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.29    | 1.50 | 5.25 |
| Manutenção preventiva e preditiva                         | ●                     | ●                  | ●             | ●                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.16    | 1.50 | 5.09 |
| Gestão Visual   | ●                     | ●                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.04    | 1.50 | 4.95 |
| Redução de estoques                                       | ●                     | ●                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 3.98    | 1.50 | 4.87 |
| Melhoria contínua   | ●                     | ●                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.56    | 1.00 | 4.56 |
| Facilidade de operação/utilização de equip. e ferramentas | ●                     | ○                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.02    | 1.00 | 4.02 |
| Disponibilidade da informação em tempo real               | ●                     | ○                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.00    | 1.00 | 4.00 |
| Segurança de dados  | ○                     | ○                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 3.82    | 1.00 | 3.82 |
| Controle de qualidade em todas as etapas do processo      | ●                     | ○                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 3.76    | 1.00 | 3.76 |
| Layout Flexível   | ●                     | ○                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 3.71    | 1.00 | 3.71 |
| Manutenção de primeiro nível (realizada pelo operador)    | ○                     | ○                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 3.69    | 1.00 | 3.69 |
| Agilidade (resposta rápida à necessidades de mudanças)    | ●                     | ●                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.11    | 0.50 | 2.91 |
| Setups Rápidos  | ●                     | ○                  | ○             | ○                   | ○               | ○                   | ○               | ○                       | ○                  | ○             | ○    | 4.11    | 0.50 | 2.91 |
| II <sub>j</sub>   | 84                    | 73                 | 74            | 87                  | 33              | 37                  | 52              | 46                      | 28                 | 17            | 31   | Relação |      |      |
| Dificuldade de implementação - Dj                         | 1.5                   | 2.0                | 1.5           | 1.5                 | 2.0             | 1.0                 | 1.0             | 0.5                     | 1.0                | 1.5           | 0.5  | ● Forte |      |      |
| Custo de implementação - Bj                               | 1.5                   | 1.5                | 1.5           | 1.0                 | 2.0             | 1.5                 | 0.5             | 1.5                     | 1.0                | 1.0           | 1.0  | ○ Média |      |      |
| II <sub>j</sub> *   | 127                   | 126                | 112           | 106                 | 66              | 45                  | 37              | 40                      | 28                 | 21            | 22   | ○ Fraca |      |      |

Os resultados obtidos são apresentados na matriz de priorização na Figura 1, onde os requisitos de manufatura já estão priorizados conforme avaliação através da pesquisa realizada com 42 respondentes da indústria e pela avaliação estratégica feita pela diretoria da empresa do estudo de caso. Considerando que os requisitos foram avaliados pela comunidade industrial, destacaram-se como os mais importantes, aqueles relacionados à produtividade, qualidade e redução de desperdícios, bem como ergonomia e segurança do operador, sendo que os que dizem respeito à flexibilidade, troca rápida de ferramentas e manutenção de primeiro nível obtiveram os menores graus de priorização. As tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 aparecem ordenadas em relação ao grau de priorização, considerando-se a sua intensidade de relacionamento com os requisitos, a importância dos requisitos de manufatura, conforme definido na figura 1 e também pelos índices atribuídos de custo e dificuldade de implementação. Desta forma, destacam-se como as quatro tecnologias mais importantes no âmbito da indústria automotiva pesada: os CPS, a análise de *Big Data*, a virtualização e a Internet das coisas,

novamente estas tecnologias aparecem juntas pela interligação que possuem. Sendo que o RFID, teve uma ordem de priorização muito baixa, devido ao seu custo e principalmente pela dificuldade de implementação, uma vez que o seu sistema exige, além da etiqueta para acompanhamento do produto, embalagem ou matéria-prima, portais de identificação e softwares de gerenciamento.

## **2.5. CONCLUSÕES**

O presente estudo contribui para um aprofundamento da pesquisa na área da Indústria 4.0, aplicada à indústria automotiva, uma vez que o assunto é novo e a literatura disponível ainda é escassa tendo poucos casos de aplicação prática das tecnologias neste ramo da indústria. Sob o ponto de vista prático, foi possível demonstrar que a adaptação da ferramenta QFD pode ser usada para priorização estratégica das tecnologias da Indústria 4.0, conforme os seus requisitos, de uma maneira muito fácil e rápida. A utilização desta ferramenta pode ser estendida para qualquer ramo da indústria, desde que os requisitos sejam conhecidos e classificados por ordem de importância.

Como limitações deste trabalho desacatam-se os fatos de ter sido realizado no âmbito da indústria automotiva, portanto sujeito às suas particularidades. Ainda, foi realizado um único estudo de caso, em uma empresa cujo conhecimento a respeito das tecnologias, suas dificuldades e mesmo os custos de implementação ainda são pouco conhecidos. Como oportunidades de estudos futuros e aprofundamentos, pode-se aplicar a ferramenta em outros estudos de caso para consolidar a sua utilização. Além disso, é importante aprofundar estudos no que diz respeito à custos e dificuldades de implementação da Indústria 4.0, incluindo os fornecedores de tecnologia e serviços como fontes de conhecimento.

## 2.6. REFERÊNCIAS

- AHMED, Shamsuddin; AMAGOH, Francis. Application of QFD in product development of a glass manufacturing company in Kazakhstan. **Benchmarking: An International Journal**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 195–213, 2010. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/14635771011036302>>
- AKAO, Yoji. **QFD: Quality Function Deployment - Integrating Customer Requirements into Product Design**. [s.l: s.n.].
- BABICEANU, RF; SEKER, R. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, [s. l.], 2016.
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 37–44, 2014.
- CNI. **Desafios para indústria 4.0 no Brasil**. Brasilia, Brazil.
- ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; LANZILOTTO, Alessandra. Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: An AHP based model. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 63, p. 187–197, 2016.
- FLATSCHER, Martina; RIEL, Andreas. Stakeholder integration for the successful product-process co-design for next-generation manufacturing technologies. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 65, n. 1, p. 181–184, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.055>>
- GILCHRIST, Alasdair. **Industry 4.0**. Berkeley, CA: Apress, 2016.
- HENRIKSEN, Bjørnar; ROLSTADÅS, Asbjørn. Knowledge and manufacturing strategy—how different manufacturing paradigms have different requirements to knowledge. Examples from the automotive industry. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 48, n. 8, p. 2413–2430, 2010. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540902744792>>
- HOZDIĆ, Elvis. Smart factory for industry 4.0: A review. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 28–35, 2015. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84933529521&partnerID=tZOtx3y1>>
- JESCHKE, Sabina et al. Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems. In: [s.l.] : Springer International Publishing, 2017. p. 3–19.
- KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, J; Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 WG**, [s. l.], n. April, p. 82, 2013.
- LIAO, Yongxin et al. Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 7543, n. March, p. 0–21, 2016.
- PAELKE, Volker. Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment. In: 19TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING

- TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION, ETFA 2014 2014, **Anais...** [s.l: s.n.]
- PRASAD, Biren. Review of QFD and related deployment techniques. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 221–234, 1998.
- PWC. **Indústria 4.0: Digitização como vantagem competitiva no Brasil**. São Paulo.
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. **Procedia CIRP**, [s. l.], 2016.
- SALDIVAR, AAF et al. Industry 4.0 with cyber-physical integration: A design and manufacture perspective. (**ICAC**), **2015 21st ...**, [s. l.], 2015.
- SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, [s. l.], v. 2015–Janua, p. 697–701, 2014.
- SMIT, William (DBSC Consulting) et al. Industrial Internet of Things. [s. l.], p. 23, 2016. Disponível em: <<https://insights.abnamro.nl/2016/02/industrial-internet-of-things/>>
- TUOMINEN, Valtteri. The measurement-aided welding cell - giving sight to the blind. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 86, n. 1–4, p. 371–386, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-8193-9>>
- WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 37, n. April 2016, p. 517–527, 2015.

### **3. ARTIGO 2 – Fatores motivadores e inibidores para a implantação das tecnologias da indústria 4.0 no ambiente da manufatura**

#### **RESUMO**

A Indústria brasileira vem tentando acompanhar as evoluções tecnológicas e de inovação dos mercados desenvolvidos. Então, a migração para a indústria 4.0 é uma questão de tempo, uma vez que Europa, Estados Unidos e China, entre outros países já vem desenvolvendo iniciativas nesta direção, nos últimos anos. As tecnologias relacionadas à indústria 4.0 são utilizadas na manufatura em vários segmentos, individualmente ou integradas entre si e em diversos níveis de implementação. Entretanto, apesar de existir muitos fatores que motivam o direcionamento das empresas rumo à implementação total da quarta revolução industrial, existe ainda uma série de barreiras ou fatores que tendem a inibir ou retardar a evolução tecnológica das empresas. Com base nestas premissas, o presente artigo pretende identificar os principais motivadores e inibidores da aplicação das tecnologias da indústria 4.0 na manufatura além de avaliar a importância e nível de implementação dessas tecnologias do ponto de vista de profissionais atuantes na indústria brasileira, assim como a relação entre a importância dessas tecnologias e os fatores motivadores e inibidores. Desta forma, o estudo foi desenvolvido realizando-se uma revisão bibliográfica sobre as tecnologias da indústria 4.0 e seus fatores motivadores e barreiras para implantação. Além disso, foi realizada uma pesquisa descritiva com a aplicação de um instrumento com gestores de manufatura de diversos setores da indústria, cujos resultados foram analisados a partir de estatística descritiva e análise de regressão. A aplicação da ferramenta e respectivas análises permitiu evidenciar que o nível da aplicação de algumas tecnologias tem influência em determinados fatores motivadores, potencializando ou minimizando a percepção de ganhos, bem como a existência de alguns dos fatores inibidores ou barreiras pode também potencializar ou minimizar determinados fatores motivados, afetando a percepção de ganhos das organizações. Cabe destacar que a falta de conhecimento de casos práticos para tomada de decisão foi o fator que mostrou mais interferência na potencialização dos fatores motivadores, o que evidencia o baixo nível de aplicação com coletas de resultados práticos das tecnologias da indústria 4.0 no Brasil.

**Palavras Chave: Indústria 4.0. Fatores motivadores. Fatores inibidores. Manufatura.**

### 3.1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, com a crescente competitividade global, aliada ao avanço da tecnologia e os requisitos de clientes cada vez mais exigentes, seja em custos, prazos ou qualidade, as empresas da área de manufatura, não tem outro caminho que não seja o de acompanhar a evolução tecnológica para se manterem ativas no mercado. Desta forma, estas empresas investem em tecnologia para os seus sistemas de manufatura baseados em métodos integrados com produtos inteligentes, cujo desenvolvimento agrega a interconexão de domínios e redes de valor tais como a estrutura organizacional (HERTER; OVTCHAROVA, 2016). Por outro lado, esta competição força um aumento de produtividade e redução de custos, fazendo com que os equipamentos de fábrica sejam muito exigidos, diminuindo seus ciclos de vida e exigindo uma manutenção assertiva. Neste contexto, a estratégia de investimento da indústria em equipamentos de produção deve considerar além de custo, performance e capacidade, as tendências tecnológicas, flexibilidade, sustentabilidade, segurança e manutenção. Com todo este cenário de competição, avanço tecnológico e necessidade de flexibilidade para atender a um cliente cada vez mais exigente, surge a integração entre muitas tecnologias existentes e também novas tecnologias através da quarta revolução industrial, também conhecida como indústria 4.0 (CARDOSO et al., 2017; THEORIN et al., 2015; WAEYENBERGH; PINTELON, 2002).

A terceira revolução industrial, iniciada na década de 70 e marcada pelo surgimento dos CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e pela utilização da TI no chão de fábrica, já trouxe o conceito de integração horizontal, ou seja conectando serviços e funções similares no mesmo nível de abstração. Na prática trata-se da integração de sensores e atuadores em nível de chão de fábrica (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a). Naturalmente, embora o conceito de integração seja o mesmo, a sua escala é bem menor e multiplicou-se com a conectividade da quarta revolução que introduziu três conceitos de integração: A integração horizontal, onde toda a rede de valores interna e externa está conectada, interagindo e trocando informações, valores financeiros e materiais. Trata-se de colaboração inter-empresas, que podem competir e colaborar ao mesmo tempo. A integração vertical, conectando através da hierarquia dos sistemas internos da corporação, é a interconexão da pirâmide da automação, criando um sistema flexível e reconfigurável, tornando o processo de produção transparente em todos os níveis, onde o sistema de produção interage com os sistemas logísticos, *ERPs (Enterprise Resource Planning)*, sistemas de aquecimento, gestão de distribuição e consumo de energia, gestão de resíduos, entre outros. Ainda, trouxe a integração *End-to-End* que conecta toda a

cadeia de valor, colocando a manufatura no *loop* de conexão com o desenvolvimento do produto e com o produto propriamente dito, com os requisitos do cliente, com os consumidores e com os fornecedores de matéria prima e serviços (WANG et al., 2016). A manufatura digital estabelece uma conexão entre o desenvolvimento do produto e a produção; através dos sistemas CAD (*Computer Aided Design*), define-se o que vai ser feito, através dos sistemas de ERP/MRP (*Material Requirement Planning*), define-se quando e quanto será produzido. A conexão entre estes sistemas se dá pelo gerenciamento do ciclo de vida do produto – PLM (*Product Lifecycle Management*), onde a estrutura do produto no nível de engenharia de desenvolvimento, evolui através do sistema para uma estrutura de produto de manufatura, agregando as funções de manufatura, ou seja, sendo agrupada conforme as etapas de montagem e também as informações de roteiro de montagem, de forma integrada. Deste modo, toda alteração em uma das etapas, pode ser refletida nas demais através do sistema de PLM, reduzindo drasticamente o ciclo de desenvolvimento e minimizando o risco de erros e as necessidades de retrabalhos, melhorando significativamente a qualidade dos produtos e do desenvolvimento propriamente dito. Isto facilita a difusão e equalização do conhecimento e traz uma redução de custos, além de suporte às iniciativas de DFMA (*Design for Manufacturing and assembly*) e DFX (*Design for Excellence*), aumentando a competitividade (CARDOSO et al., 2017).

As três revoluções industriais prévias sempre trouxeram um aumento significativo de produtividade embora com impacto maior no chão de fábrica. Já na quarta revolução industrial este impacto é mais extenso, uma vez que atinge toda a cadeia. No que diz respeito à manufatura, afeta significativamente a produtividade dos processos de manufatura, uma vez que pode apoiar os processos de tomada de decisões descentralizadas e com efeito preditivo (SCHUH et al., 2014). A fábrica do futuro será extremamente flexível e autoconfigurável, ou seja, os dados da produção não serão mais controlados de maneira centralizada e sim serão disponibilizados e avaliados via *tablets* e celulares *smarts* para tomada de decisões descentralizadas (GAUB, 2016).

Neste cenário, a implementação das diversas tecnologias no contexto da manufatura implica em alto investimentos, novas competências e capacidades para as empresas. Os benefícios gerados pela adoção de tecnologias da indústria 4.0, tais como significativos aumentos de produtividade, melhoria na qualidade do produto e flexibilidade para atender a um mercado exigente, podem ser os principais motivadores para a sua implementação. Porém, existem diversas barreiras que inibem uma migração para esta nova era industrial, como



questões culturais, falta de profissionais qualificados, altos custos relacionados às novas tecnologias, segurança das informações estratégicas expostas na nuvem, entre outros.

Há uma lacuna na literatura de estudos aplicados para o contexto da manufatura alinhada aos princípios da indústria 4.0, pois enquanto que a academia e os órgãos do governo estão voltados para a pesquisa, a indústria está preocupada em desenvolvimento, fabricação e comercialização, sendo que estes três segmentos nem sempre trabalham de forma colaborativa, deixando um vazio em pesquisa sobre manufatura aplicada (SMIT et al., 2016). Existe também um gap no entendimento do estado atual dos sistemas de manufatura e a aplicação da indústria 4.0. A maioria dos sistemas atuais, embora cubram individualmente, boa parte dos requisitos da indústria 4.0, principalmente no que diz respeito à interoperabilidade, deixam uma grande lacuna relacionada aos conceitos da indústria 4.0, principalmente quando tratados como sistema, conjuntamente (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016b).

Desta forma, o presente estudo, objetiva avaliar os principais fatores motivadores e inibidores para a implementação das tecnologias da indústria 4.0 na manufatura, do ponto de vista dos profissionais atuantes na área de manufatura, buscando evidenciar a relação ou interação entre o nível de implementação das tecnologias e estes fatores positivos e negativos.

## **3.2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.2.1. Indústria 4.0 e suas tecnologias na Manufatura**

Alguns autores entendem o termo Indústria 4.0, como a associação de manufatura industrial com a Tecnologia da Informação, abrangendo todas as alterações técnicas e organizacionais ocasionadas pelo aumento da interação entre homens e máquinas, com o objetivo de maximizar a flexibilidade e a colaboração e conseqüentemente a produtividade, uma vez que a demanda é sempre por lotes menores, ou até mesmo individualizado. É a chamada customização em massa, o que requer um constante ajuste e reconfiguração dos processos de manufatura. As empresas que querem sobreviver permanentemente no mercado, devem implementar estas mudanças de forma eficiente; uma das maneiras possíveis é a captura do estado corrente e a adaptação (automática, se possível) para o novo sistema, ou seja, uma imagem do mundo real e o seu *link* com o mundo virtual (IMKAMP et al., 2016).

A maioria das ferramentas, tecnologias e processos, já está disponível há muito tempo para implementação da indústria 4.0 na manufatura, em alguns casos com elevado grau de maturidade, entretanto, a customização, a padronização necessária, os algoritmos de integração, além do entendimento e vontade dos *players* da manufatura representam um verdadeiro desafio

para transformar a manufatura atual em uma manufatura inteligente e a utilização integrada destas tecnologias para otimizações e tomadas de decisões descentralizadas. Com o avanço acelerado da tecnologia, onde se coloca cada vez mais capacidade de armazenamento e processamento em dispositivos cada vez menores e com a facilidade de geração e armazenamento de dados, uma imensa quantidade de informação digital foi acumulada. Além disso, o surgimento das chamadas tecnologias emergentes, aliado à novas estratégias de inovação tornou possível migrar este conceito de conectividade total para a indústria, especificamente na manufatura (LEE et al., 2013; LIAO et al., 2016; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a; WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

Dentre as tecnologias que propulsionam a indústria 4.0, (BRAGANÇA et al., 2017), os dois principais pilares são a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) e os Sistemas Ciber-Físicos (CPS - *Cyber Physical Systems*) (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016b), pois enquanto os CPS, como dispositivos inteligentes, capazes de monitorar, controlar, armazenar transferir, tratar dados além de comunicar-se entre si e com seres humanos, de forma colaborativa, facilitam a existência da Indústria 4.0, a Internet das coisas é o ambiente onde esta grande rede social existe. Outra tecnologia que aparece como sendo um dos pilares conforme alguns autores é a capacidade de comunicação entre máquinas (M2M – *Machine to Machine communication*) (BARTODZIEJ, 2017; KANG et al., 2016; SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014), pois somente com a comunicação direta entre máquinas é possível a autoconfiguração e tomada de decisão sem a intervenção do ser humano, eliminando as limitações de tempo, atenção e precisão.

Para facilitar o entendimento na implantação da Indústria 4.0, foram desenvolvidos alguns modelos de implementação em chão-de-fábrica, um deles é a arquitetura 5C (LEE; BAGHERI; KAO, 2015), elencando 5 níveis para o desenvolvimento da indústria 4.0 (*'Connection Level', 'Conversion Level', 'Cyber Level', 'Cognition Level', and 'Configuration Level'*). Este modelo tem uma similaridade muito grande com a tradicional pirâmide de automação (GANGULY; VOGEL, 2006; GIVEHCHI; JASPERNEITE, 2013; HARNLY et al., 2005), de modo que técnicos e engenheiros atuantes na automação da manufatura tem um rápido entendimento da arquitetura de *hardware*.

As tecnologias relacionadas à indústria 4.0 já são amplamente utilizadas em ambiente de manufatura, o que ainda falta para a integração e conectividade é o conhecimento, os recursos e a infraestrutura, além de outros fatores inibidores, explorados no item 3.2.3 do presente

estudo. Conforme descrito a seguir, vários exemplos de aplicação destas tecnologias podem ser encontrados na indústria, seja individualmente ou conectadas a outras tecnologias.

### **3.2.1.1. Sistemas Cyber Físicos – CPS (Cyber Physical Systems)**

Os sistemas cyber físicos são equipamentos dotados de inteligência e habilidade de comunicarem entre si, cujas funções são muito mais determinadas pelo *software* embarcado do que pelo seu *hardware*, de modo que uma enormidade de funções e operações podem ser programadas, sendo capazes de otimizar ou alterar configurações e parâmetros conforme as demandas de produção. Os CPSs são utilizados no ambiente de manufatura para gerenciamento de *big data* e para alavancar a interconectividade de máquinas, de forma a conectar os ambientes de produção, cadeia de suprimentos, trocando informações com o sistema de execução de manufatura e com os sistemas de ERP (IVANOV et al., 2016; WITTENBERG, 2016), produtos, clientes e serviços (LEE; BAGHERI; KAO, 2015; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a).

Os sistemas ciber físicos são empregados normalmente no chão de fábrica, mas a sua natureza flexível e a possibilidade de troca de informações faz com que sejam utilizados também em outras camadas de pirâmide de automação, em sistemas de nível mais alto, tais como no MES ou ERP (SMIT et al., 2016). O desafio aqui é coletar o dado correto, no tempo certo e no local adequado. A maneira com que os dados são coletados pode ter uma influência decisiva na qualidade da informação e a sua correta interpretação é fundamental para o correto processamento na rede. O sistema deve ser robusto suficiente para tratar de forma correta os dados conflitantes ou redundantes, no contexto da indústria 4.0, a tecnologia de medição utilizada e a sua integração digital na produção é extremamente importante, a seleção adequada dos sensores, ligados a um modelamento de processo é uma etapa da virtualização dos sistemas de produção.

### **3.2.1.2. IoT – Internet das Coisas**

Em ambiente de manufatura a Internet das Coisas é definida por alguns autores como Internet Industrial das Coisas (*IIoT – Industrial Internet of Things*) (SMIT et al., 2016), que trata da conexão entre máquinas, sensores e atuadores à internet, fazendo com que estes dispositivos se tornem protagonistas da produção. A evolução da conexão sem fio tornou possível descentralização, além de eliminar o risco de desgaste e mau contato provocado pelo uso de enlaces físicos formados por cabos e barramentos. Através de conexões *wifi* ou *Bluetooth*, os dispositivos podem acessar vários outros ao mesmo tempo, mudando a topologia

das redes industriais de modelos hierárquicos para descentralizados, adicionando alta flexibilidade aos processos, trazendo uma redução de custos de manutenção e instalação, além de demandar um investimento menor. Atualmente já existem soluções sem fio especialmente desenvolvidas para a automação (NIXON, 2012), que trazem a robustez necessária para operar em ambiente de produção, sendo comparável aos sistemas de barramento. A Internet das coisas é a base para as três integrações propostas pela indústria 4.0, provendo a infraestrutura técnica necessária para habilitar uma produção conectada com confiabilidade e eficiência, onde o valor agregado aos meios de produção, sistemas e equipamentos proporciona uma melhoria contínua na performance dos processos industriais, pela aplicação em manufatura, engenharia e ciclo de vida do produto e quando ultrapassa os limites da organização, conectando a cadeia de fornecedores (SMIT et al., 2016). Trata-se da capacidade de comunicação sem fio entre sensores e computadores, com interação limitada ou sem interação de seres humanos, permitindo uma sincronização precisa entre recursos de produção que podem ser alterados ou adaptados local ou globalmente (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a; WANG et al., 2016).

### **3.2.1.3. M2M – Comunicação entre Máquinas**

A comunicação entre máquinas (*Machine to Machine communication* – M2M) criou uma modificação sensível na pirâmide de automação (WITTENBERG, 2016), as máquinas que normalmente estão no nível um, ou no chão de fábrica, que é a base da pirâmide, obtêm informações e se comunicam com os níveis três, que é o nível dos sistemas de execução de manufatura e gerenciamento da planta e também no nível quatro, no nível corporativo, onde estão os sistemas de ERP e a gestão estratégica da fábrica. Através da comunicação entre máquinas, os equipamentos de chão de fábrica adquirem características “sociais” entendendo um conjunto comum de regras e conhecimentos e passam a atuar na rede social da fábrica, enviando, recebendo e processando as informações (WANG et al., 2016). Além disso, a comunicação entre máquinas tem um papel fundamental para o balanceamento de linha e a produção de lotes únicos ou customizados, a troca de informações entre os equipamentos permite a otimização do fluxo e o sequenciamento baseado em algoritmos predeterminados, de forma que em uma configuração de linha, as máquinas não alocadas para a produção de determinado produto podem ser alocadas para tarefas referentes a outros produtos ou para manutenção, sem a necessidade de desconexão física ou lógica do sistema (SMIT et al., 2016).

#### 3.2.1.4. Análise de Big Data

A manufatura gera uma infinidade de dados, mais do que o dobro de outras indústrias (Mackinsey Global Insight 2016), o que constitui um grande potencial e ao mesmo tempo, um grande desafio, pois enquanto que a utilização correta destes dados para otimização dos processos, transformação dos mesmos em informações e em conhecimento, o nível de detalhamento deve ser suficiente para identificar um padrão e assim refletir a situação real e a fidelidade do sistema de forma a agregar valor ao sistema a partir destes dados gerados, mas deve levar também em consideração o custo e a capacidade de processamento da TI utilizada pela empresa (IMKAMP et al., 2016; THEORIN et al., 2015; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a). A coleta e compilação de todos os dados gerados na manufatura, se feita pelas metodologias tradicionais pode trazer um tempo e custos excessivos para as organizações. Entretanto, com a automatização das tarefas de coletas e análises de *big data*, este esforço será reduzido drasticamente, permitindo a otimização, e gerenciamento dos sistemas de controle e supervisão (WAGNER; HERRMANN; THIEDE, 2017; WANG et al., 2016). O desenvolvimento da computação em nuvem e a velocidade da internet proporcionam uma utilização cada vez maior das ferramentas de análise de *big data* e permite utilização para geração de conhecimento e tomadas de decisão, para melhoria em produtos, para otimização de fluxos produtivos e balanceamento de linha, entre outros. O conceito de *industrial smart data*, que é a infinidade de dados gerados pelos inúmeros sensores colocados diretamente na produção, na logística e ao longo da cadeia, implica em soluções de armazenamento e tratamento correto destes dados dentro do contexto da manufatura, para que sejam analisados, interpretados e utilizados de forma sistemática, através da detecção de padrões que possam ser correlacionados a eventos. Devido à natureza e quantidade de dados, estes apresentam comportamentos que na maioria dos casos, levam a padrões identificáveis automaticamente, não demandando altíssimo conhecimento de especialistas e podendo ser analisados por softwares dedicados (SMIT et al., 2016).

#### 3.2.1.5. Computação em Nuvem

A tecnologia de computação em nuvem, ou *cloud computing*, está sendo amplamente utilizada em manufatura para prover serviços de manufatura sob demanda, digital ou fisicamente, de forma remota ou presencial, otimizando os recursos de manufatura. É possível oferecer recursos compartilhados de *software* para simulação e desenvolvimento, conhecimento e formação, tomadas de decisão baseadas nos cenários de chão de fábrica, além de espaço para armazenamento e análise de Big Data (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a; WANG et al.,

2016). Quando se fala em computação em nuvem, surge o risco relacionado à segurança cibernética, desta forma, a criptografia e os sistemas de autenticação, utilizados nos domínios tradicionais da internet, também são válidos e utilizados no ambiente de manufatura da indústria 4.0. Mas, já é consenso entre especialistas que novos sistemas e dispositivos dedicados à utilização em *smart Factory* devem ser desenvolvidos, atualmente algumas empresas utilizam métodos conservadores como a utilização de armazenamento interno ao invés da nuvem para informações confidenciais, e ainda, uma espécie de autenticação ou a confirmação por um ser humano antes que o equipamento possa acessar determinados dados (WANG et al., 2016).

#### **3.2.1.6. Inteligência Artificial**

Com a utilização de processadores de alta capacidade e tecnologias de Inteligência Artificial os equipamentos de automação tornam-se equipamentos *smarts*, de forma que não somente tem habilidades de computação, comunicação e controle. As máquinas passam a ter autonomia e atuar na rede social da fábrica, tomando decisões em um ambiente incerto, sem a existência de ações pré-definidas, alterando parâmetros de processos e de produtos, através da análise de dados e reconhecimento de padrões (SMIT et al., 2016; WANG et al., 2016).

#### **3.2.1.7. Manufatura Aditiva**

A utilização de impressões 3D permite um aumento de flexibilidade na produção, cada vez mais competitiva, podendo-se chegar a lotes muito pequenos, até mesmo unitários. A manufatura tem utilizado processos de impressão 3D integrados com processos tradicionais, tais como injeção de plástico, cortes laser, operações de montagem final, entre outros (GAUB, 2016). Além disso, a utilização para produção de protótipos e lotes piloto, permite testar rapidamente novos designs, acelerando significativamente o processo de inovação, sem a utilização dos recursos definitivos de produção, sem a necessidades de moldes ou ferramentais, possibilitando a produção em uma única etapa, de peças com *design* complexo, o que demandaria várias etapas de produção tradicionais (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Entretanto, a utilização do processo de manufatura aditiva ainda é restrita a aplicações em pequena escala e em nichos específicos da indústria, principalmente em mercados onde existe uma demanda maior por customização, flexibilidade, complexidade de desenho, além de altos custos de transporte, embora as pesquisas mostrem que esta tecnologia deverá atingir um grau de maturidade e uma penetração muito abrangente na indústria em poucos anos. A tecnologia de desenvolvimento de matérias-primas, alavancou a crescente disponibilidade de materiais para utilização em Manufatura Aditiva, que vão desde vários plásticos, cerâmicas, metais e

concretos, basicamente, qualquer material que possa ser liquefeito ou derretido e solidificado novamente (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). A utilização do processo de manufatura aditiva, resolve potencialmente o dilema escopo-escala, uma vez que os custos relacionados à variedade de produção são insignificantes e os produtos podem ser produzidos em qualquer sequência.

#### **3.2.1.8. Realidade aumentada**

Sistemas capazes de adicionar informações geradas por computador ao ambiente real e integrá-las com o ambiente de fábrica são chamados de realidade aumentada. Estes sistemas inserem informações gráficas em três dimensões no ambiente do operador e permitem interações em tempo real com os dispositivos e com a nuvem (PAELKE, 2014). A realidade aumentada está cada vez mais sendo utilizada na manufatura, seja através de instruções de trabalho inteligentes com emprego de telefones celulares, *tablets* ou até mesmo a utilização de óculos *smart* (*google glasses* ou outros dispositivos de vestir, chamados *wearables*) para auxílio em montagem, localização virtual de erros, manutenção (MASONI et al., 2017) ou assistência técnica de campo, melhorando de forma significativa a ergonomia dos usuários e trazendo uma informação filtrada e específica, minimizando assim as possibilidades de erro. Além de prover informações para auxílio à operação, estes dispositivos operam de maneira bidirecional, pois normalmente são dotados de *touch-screen*, *touch-buttons*, câmeras, microfones, sensores de temperatura, de inclinação e acelerômetros, de forma que, quando conectados à rede, podem coletar informações de produto e processo, através de leitura de parâmetros de processos (coordenadas geográficas, temperatura, fotos para comparação de aparências, etc.) e envia-las aos sistemas de gestão para agregar à massa de dados adicionando informações importantes para análises de *big data* e processamento em nuvem. A mobilidade e acessibilidades destes equipamentos flexibiliza e agiliza significativamente reduzindo em muito os tempos de processos e reparos, comparando-se a terminais ou estações de trabalho estacionárias (SMIT et al., 2016).

#### **3.2.1.9. Virtualização**

A Virtualização é um passo necessário para a aplicação de simulação na manufatura, trata-se de criação de modelos virtuais, associados ao ambiente real de modo a rodar simulações e adiantar resultados para tomadas de decisão (BABICEANU; SEKER, 2016). A utilização de gêmeos digitais (*Digital Twin*) permite através de nuvem de pontos gerar uma cópia virtual do ambiente de fábrica e utilizar nos sistemas de CAD/CAM, para simulações, mesclando o real

com o virtual (KANG et al., 2016; SMIT et al., 2016; UHLEMANN; LEHMANN; STEINHILPER, 2017; XU, 2017).

#### **3.2.1.10. Identificação por Rádio Frequência – RFID**

A rastreabilidade através da identificação por rádio frequência, com a utilização de etiquetas de leitura ou leitura e escrita, pode ser utilizada tanto em componentes, como em produtos que carregam informações sobre seu histórico ao longo da cadeia produtiva e até mesmo em campo, para facilitar ações de serviços e assistência técnica, quanto em equipamentos, principalmente *fixtures*, *dollies* ou *carriers*, que ao se movimentar na linha de montagem comunicam-se com as máquinas ou robôs trocando informações acerca dos produtos que estão carregando e com isso alterando setups ou configurações de parâmetros de medida ou montagem (GAUB, 2016; PAELKE, 2014; WANG et al., 2016). A área de logística interna também utiliza o conceito de rastreabilidade e organização de abastecimento com a solução de RFID, onde utilizam-se AGVs (*Automated Guided Vehicles*) dotados *tags* que podem ler e escrever nas etiquetas dos produtos, assim agregando informações de rastreabilidade de matéria-prima, além de manter controle de rotas e velocidade, evitando colisões e programando abastecimentos nos momentos corretos e nos pontos corretos da linha de montagem, no momento de utilização. auxiliando nos processos de Planejamento e Controle da Produção (SMIT et al., 2016; WANG et al., 2016).

#### **3.2.1.11. Robôs Autônomos**

A evolução dos CPS, que inicialmente eram somente equipamentos com sensores ou *tags* de RFID, deu origem a equipamentos com sistemas embarcados, conexão integrada à rede e processamento centralizado totalmente, dotados de inteligência artificial e autonomia de decisão sobre operações e movimentos. Assim a última e mais complexa geração dos CPS é o robô autônomo, que possui uma variedade de sensores e atuadores de forma a perceber, manipular e se mover no ambiente além de interagir de forma coordenada com outros robôs e com operadores. A interoperabilidade entre robôs e seres humanos é a palavra chave para a realização da automação *smart* no chão de fábrica. A utilização de robôs dotados de sensores e câmeras que registram movimentos e interrompem tarefas em tempos muito curtos e ao menor risco de acidente com os seres humanos, permitem o trabalho colaborativo quase irrestrito. Algoritmos e sensores fazem com que o robô consiga detectar o ambiente dinâmico onde está inserido e reconhecer as intenções do operador, bem como revelar suas intenções de comportamento e ações, evitando acidentes e danos a outros equipamentos ou ao ser humano,



esta detecção e interação deve ser à prova de erros, independente de condições desfavoráveis do ambiente (temperaturas, baixa iluminação, fumaças, etc..). Além disso, tarefas repetitivas ou insalubres, podem ser compartilhadas, ficando para o operador somente a parte menos perigosa da tarefa, cabendo-lhe ainda a gestão da operação (SMIT et al., 2016).

### **3.2.2. Fatores motivadores para implementação das tecnologias da Indústria 4.0**

Dentre os muitos fatores que podem ser considerados como motivadores ou facilitadores para a implementação da indústria 4.0, a literatura consultada evidencia os elementos listados a seguir. Estes motivadores destacam-se por conseguirem evidenciar resultados, pela facilidade ou conhecimento de algumas tecnologias por parte dos profissionais atuantes, ou ainda, pela necessidade de acompanhamento da evolução tecnológica iminente.

#### **Aumento da Produtividade**

À medida que os processos decisórios tendem a ser rápidos, apoiados em virtualização e simulações, além de análises de *Big Data* e processamento em nuvem, o desenvolvimento de produtos e processos produtivos também serão rápidos. Assim, os custos de desenvolvimentos serão mais baixos e conseqüentemente os produtos fabricados trarão um custo de engenharia menor. Os sistemas de manufatura flexíveis estão evoluindo para a utilização de manufatura aditiva (impressão 3D) como meio de aumento na produtividade, esta prática tem aumentado significativamente nos últimos anos, considerando-se uma redução do tempo de setup a quase zero, além de necessitar somente a matéria prima e um modelo tridimensional em CAD do produto a ser produzido, uma vez que o produto é formado por camadas, sem a necessidade de trocas de ferramentas ou moldes, podendo produzir produtos de design complexos e até mesmo partes móveis, sem aumentar a complexidade do processo produtivo. Os sistemas flexíveis de manufatura, completamente interconectados, permite um setup mínimo quando da troca de produtos a serem fabricados (WANG et al., 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015). O monitoramento constante, adaptações e correções rápidas antecipando-se a potenciais desvios de processo, reduz drasticamente os *downtime* das máquinas, melhorando a sua disponibilidade trazendo também um ganho significativo de produtividade (BRETTEL; KLEIN; FRIEDERICHSEN, 2016; SCHUH et al., 2014; SMIT et al., 2016).

#### **Flexibilidade para customização em massa**

À medida que o mercado exige produtos cada vez mais customizados, o tamanho dos lotes tende a diminuir, atualmente o mercado fala em lote unitário, onde o cliente pode

configurar o produto que quer comprar. Esta customização é possível através da rápida reconfiguração dinâmica realizada nos meios de produção e pela flexibilidade permitida com a utilização das tecnologias da indústria 4.0, onde é possível retirar e colocar novos equipamentos de produção de uma forma *plug and play* ou mesmo isolar equipamentos com problemas de funcionamento ou parada para manutenção e redistribuir suas tarefas entre outras máquinas que tenham redundância de função. A utilização de CPS e demais tecnologias da indústria 4.0, faz com que as instalações de chão de fábrica tornem-se sensíveis ao contexto, ou seja, as etapas de fabricação são vistas como serviços fornecidos que podem ser combinados de maneira otimizada e arbitrária, conforme a demanda, possibilitando a produção de vários modelos e tipos de produtos, de maneira econômica (SMIT et al., 2016). A utilização da manufatura aditiva, permite produzir uma grande variação de produtos a partir de um mesmo recurso, sem penalizar os custos de produção. Uma das vantagens competitivas desta customização é a de que ao atender as necessidades e preferências dos clientes, estes enxergam um valor agregado no produto e estarão dispostos a pagar mais caro por isso, então é possível obter preços de venda maiores, há casos em que o próprio cliente configura ou atua no desenho do produto, de forma remota, alterando além de cor e tamanho, alguns parâmetros de configuração e design, conseguindo adquirir exatamente a sua demanda (CARDOSO et al., 2017; GAUB, 2016; IMKAMP et al., 2016; WANG et al., 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

### **Significativos aumentos de qualidade**

Sabendo-se que a performance dos equipamentos afeta diretamente a qualidade, através da coleta e análise de dados, utilizando-se técnicas de *Big Data analytics* é possível otimizar o funcionamento das máquinas e trabalhar em avanço evitando-se a deterioração de parâmetros de qualidade do produto (WANG et al., 2016). O monitoramento da estabilidade dos processos primários propicia um ajuste constante no curto prazo assegurando a qualidade do produto. Valendo-se de CPS, a indústria pode coletar dados em tempo real dos produtos em produção, bem como dados de campo, detectar rapidamente desvios de parâmetros de produção e corrigi-los antes de produzir produtos defeituosos. Estes dados servem ainda para ajudar a chegar à causa raiz dos defeitos e eliminá-la na origem (SMIT et al., 2016).

### **Melhoria nas condições de trabalho**

Através da automação e monitoramento constante, existe a tendência de melhoria das condições de ergonomia e segurança, fazendo com que os operadores realizem tarefas menos repetitivas, deixando aquelas em condições severas ou insalubres para serem realizadas pelas

máquinas, trazendo inclusive redução de custos relacionados a ações trabalhistas para as empresas (CARDOSO et al., 2017). Com a utilização de equipamentos *smart* do tipo *wearable* ou portátil (telefones celulares, relógios, pulseiras ou óculos), dotados de sensores e sistemas de monitoramento de posicionamento, que acompanham toda a jornada do operador, é possível mapear os movimentos e rotas, planejando otimizações de processo, diminuindo assim os tempos e distâncias de deslocamento, além de que estes equipamentos podem comunicar-se com máquinas, AGVs e principalmente com robôs no chão de fábrica, minimizando o risco de colisões e acidentes (SMIT et al., 2016).

### **Redução do consumo de energia**

Um aumento da eficiência energética e, em consequência, uma maior contribuição à sustentabilidade, pode ser obtido através de máquinas dotadas de algoritmos que diminuem seu consumo nos horários de pico, ou entram em modo *stand by* quando não utilizadas ou em espera de manutenção. A utilização de análise de *big data* pode trazer informações úteis sobre consumo de energia e recursos naturais e propor modelos de otimização e planejamento dinâmico dos mesmos, aumentando a eficiência dos recursos e processos, proporcionando uma redução de custos através de uma produção “mais verde” (CARDOSO et al., 2017; SMIT et al., 2016; WANG et al., 2016).

### **Redução de desperdícios**

Uma redução significativa de utilização de matéria prima pode ser alcançada através do uso de impressão 3D na produção, utilizando somente o material necessário para a formação do produto, sem desperdícios em canais de injeção de plástico, por exemplo ou rebarbas geradas por ferramentais desgastados, ou ainda sem geração de cavacos e excesso de material nos processos convencionais de CNC para metais. Além disso, a impressão de produtos completos, sendo montados em camadas, minimiza os custos de estoque de produtos semiacabados (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). O planejamento dinâmico através de utilização de equipamentos inteligentes dotados de sensores, pode prever paradas e controlar consumo de matérias primas que sofrem deterioração quando seus processos não estão finalizados, evitando-se assim o seu desperdício.

### **Aumento da eficiência na Gestão**

Com a utilização de processamento em nuvem e análise de *big data*, além do monitoramento em tempo real da fábrica, os gestores podem ter uma maior visualização e

controle dos processos de negócio, agilizando a tomada de decisões (CARDOSO et al., 2017). A utilização das tecnologias de manufatura aditiva pode facilitar nos processos decisórios com respeito à localização de novas plantas de manufatura, uma vez que os custos fixos e de *setup* para equipamentos de manufatura aditiva, são relativamente baixos se comparados aos processos convencionais, onde são necessários mais máquinas e equipamentos para produzir. A possibilidade de se produzir em lotes menores, ou unitários, fará com que a produção fique localizada próxima ao ponto de uso, sendo que o ponto de definição será *o trade-off* entre os custos de transporte de produto acabado e penalidades por atraso de entrega e os custos de transporte de matéria-prima (WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

### **Aumento do valor agregado a partir de *smart products***

Cada vez mais os serviços agregados e a experiência do cliente são importantes em produtos *smart*, o *hardware* propriamente dito é somente um meio de o cliente utilizar como plataforma de facilidades. Através das tecnologias associadas à indústria 4.0, é possível manter uma conexão contínua entre o consumidor, o produto em uso e o fabricante, de forma a oferecer facilidades e agregar periféricos e serviços, trazendo benefícios para ambos, enquanto o cliente aproveita cada vez mais facilidades com o produto adquirido, o fabricante tem a possibilidade de medir o grau de satisfação e entender a utilização do produto, de modo a aperfeiçoá-lo, provendo atualizações de softwares e utilizando as informações coletadas para ajustar parâmetros de manufatura e equipamentos, aplicando conceitos de melhoria contínua. Os produtos *smart*, trouxeram também o conceito de modularidade, desta maneira, o consumidor pode agregar valor investindo em *hardware* periférico conforme sua utilização e necessidade, escolhendo as funcionalidades que quer aplicar em seu equipamento e não adquirindo as que não fazem sentido no seu contexto de utilização, de certa forma economizando (SMIT et al., 2016).

### **Surgimento de competências - mão-de-obra mais qualificada**

Os equipamentos passam a realizar tarefas repetitivas, insalubres ou perigosas, de modo que o operador passa a atuar como supervisor do sistema, com uma maior qualificação técnica. Novas profissões estão surgindo como por exemplo, a função de Especialista de computação em nuvem, para integrar a computação em nuvem com os sistemas de automação de chão de fábrica, considerando os requisitos de segurança de dados e processamento em tempo real (WITTENBERG, 2016). Mesmo com a evolução da tecnologia, o ser humano terá sempre o papel mais importante na tomada de decisão, dada a sua flexibilidade e habilidades

comportamentais. À medida que aumenta a complexidade dos processos, os operadores têm que acompanhar esta evolução, qualificando-se melhor, então, quanto maior o nível de qualidade das informações recebidas dos equipamentos, melhor será a qualificação e melhor será o resultado das decisões do ser humano em chão de fábrica (SMIT et al., 2016).

### **Redução de custos e Prazos**

Durante as fases de desenvolvimento ou modificações de um sistema de manufatura, usa-se ferramentas de simulação e acesso remoto, trazendo grande parte do trabalho de campo para o escritório, diminuindo as necessidades de paradas de linha para execução de testes, de forma a diminuir o tempo necessário e os custos de desenvolvimento (WITTENBERG, 2016). A utilização das tecnologias da indústria 4.0 (sensores, IoT, CPS), permite prever, programar e antecipar ações de manutenção, otimizando o uso de máquinas e equipamentos e melhorando sensivelmente a sua disponibilidade em linha (*uptime*). Ainda, a utilização de sistemas de rastreabilidade de peças de reposição pode otimizar os custos com manutenção e minimizar paradas de produção. Outro grande avanço que aparece com a integração, é a possibilidade de autodiagnóstico das máquinas e também acesso e monitoramento remoto, diminuindo o tempo necessário de reparo dos equipamentos, o trabalho de campo pode ser realizado com a utilização de um celular *smart* ou um *tablet* enviando fotos e informações ou utilizando realidade aumentada, para receber auxílio e trocar informações com o fabricante, com um laboratório ou com uma central de manutenção, em qualquer parte do mundo. A capitalização dos conhecimentos a respeito das máquinas em campo, por meio da colaboração dos técnicos e operadores, além da análise de dados coletados ao longo da sua aplicação, propicia também a retroalimentação ao fabricante para correção de fragilidades de projetos e melhoria contínua para novas gerações de equipamentos, além de correções *on-line* quando for o caso de *software* (SMIT et al., 2016; WAEYENBERGH; PINTELON, 2002; WANG et al., 2016; WITTENBERG, 2016).

### **Redução do ciclo de desenvolvimento de produtos**

A utilização de modelamentos, virtualizações e simulações, aliadas a utilização de manufatura aditiva durante o desenvolvimento de produtos, além de trazer uma redução de custos, irá reduzir significativamente o prazo de desenvolvimento de novos produtos, o que é extremamente importante e desejável sob o ponto de vista competitivo. A engenharia de desenvolvimento pode se beneficiar das tecnologias da indústria 4.0 para antecipar testes e melhorias no produto em desenvolvimento, pode também desenvolver o processo e o *layout*

produtivo da fábrica de forma concomitante, além de antecipar as etapas de planejamento e controle de produção de forma segura, baseada em dados. Além dos fatores citados acima, a utilização de manufatura aditiva no desenvolvimento facilita qualquer alteração de produto que seja necessária, sem a necessidade de modificação de ferramentais, o que implicaria em aumento de custos e prazo de desenvolvimento (CARDOSO et al., 2017; WELLER; KLEER; PILLER, 2015). A aplicação de análise de Big Data pode reduzir o tempo de desenvolvimento do produto e desenvolvimento do processo de manufatura em até 50% (SMIT et al., 2016).

### **Ganho de competitividade pela customização de produtos**

Pela possibilidade de produzir maior variedade de produtos, com alto nível de customização e também com a possibilidade de compartilhamento de dados com o cliente, conhecendo as suas demandas, através da análise de *big data*. Ainda, utilizando-se de tecnologias e modelamentos globalmente utilizados, é possível ter um portfólio de produtos mais abrangente com um investimento menor, proporcionando ao cliente produtos com características individualizadas, com padrões de qualidade elevados e com custos e tempos de produção significativamente menores. Esta conexão direta entre a fábrica, o produto e o cliente, traz um aumento de competitividade (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016; SMIT et al., 2016; TUOMINEN, 2016).

### **Utilização de dispositivos com tecnologias conhecidas**

Nem todas as tecnologias relacionadas com indústria 4.0 possuem alto custo de implementação ou demandam alto custo de treinamento, um dos benefícios está relacionado à popularização dos *smart* fones e outros equipamentos *smart*, algumas tecnologias empregadas já são bastante conhecidas e utilizadas, trazendo uma aceitação muito grande pela força de trabalho, uma vez que os equipamentos portáteis são facilmente operados por qualquer faixa etária e independente da classe social, facilitando em muito a comunicação digital no ambiente de produção. A utilização de aplicativos intuitivos e desenvolvidos para aplicações específicas, sem a necessidade de investir em treinamentos técnicos sofisticados (AN; LEE; PARK, 2008; KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; SMIT et al., 2016).

### **3.2.3. Fatores inibidores para implementação das tecnologias na Indústria 4.0.**

Dentre as principais barreiras ou fatores inibidores evidenciados na literatura pesquisada, destacam-se os fatores a seguir como os mais importantes. Cabe destacar que às principais

barreiras estão ligadas às questões culturais, financeiras ou falta de conhecimento sobre as tecnologias.

### **Falta de capital de investimentos**

Em função das sucessivas crises econômicas e também devido a todas as incertezas econômicas e políticas dos últimos anos, principalmente no Brasil, as empresas têm muita dificuldade em financiar seus projetos de tecnologia e modernização de seus parques fabris. Para as pequenas e médias empresas nacionais, falta uma política de incentivo por parte das entidades públicas até porque existem outras prioridades que se referem às necessidades básicas da população, conforme mostra estudo do publicado pelo Instituto para Estudos de desenvolvimento industrial publicado em 2018 (IEDI, 2018). Quanto às grandes multinacionais, elas seguram seus investimentos em função das incertezas do mercado e se direcionam para mercados mais estáveis e com riscos menores (CARDOSO et al., 2017).

### **Custos relacionados a tecnologia e retorno incerto**

A indústria reluta em implementar, devido aos aparentes altos investimentos necessários e a incerteza quanto ao retorno dos mesmos, principalmente no que diz respeito à manufatura aditiva, análise de *big data* e *cloud computing*, apesar do custo operacional ser mais baixo, uma vez que os processos serão otimizados e flexíveis, de modo a reduzir desperdícios e produzir uma variedade maior de produtos em uma mesma linha (CARDOSO et al., 2017; THEORIN et al., 2015; WANG et al., 2016). Pela própria característica da manufatura onde as operações, à nível de chão de fábrica são operações baseadas em eventos controlados, usando-se Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e Comandos de Controle Numérico (CNC), cujos hardwares são legados, com custo alto e com um elevado tempo de depreciação, resulta difícil para a alta gestão conseguir justificar um projeto de modernização, onde um dos pontos frágeis da indústria 4.0 é a incerteza quanto ao retorno do investimento (BABICEANU; SEKER, 2016; THEORIN et al., 2015).

### **Dificuldade de padronização da comunicação em toda a cadeia**

O setor de manufatura envolve grande quantidade de operações, desde a fabricação das peças, montagem, embalagem, transportes, controle de qualidade, etc. Consequentemente um número grande de diferentes *stakeholders* envolvidos tais como, subfornecedores, especialistas em logística, montadores, integradores, entre outros. Além disso, a manufatura é monitorada o tempo inteiro para garantir qualidade, custo e produtividade. O resultado é que existe uma

grande variedade de equipamentos com as mais diversas utilizações e com diferentes níveis de usuários e necessidades de ajustes, setups e manutenção. Uma das barreiras que se apresenta, é a dificuldade de integração e comunicação em todos os níveis, de todos estes players, envolvendo áreas, pessoas e equipamentos internos e externos, de maneira que os dados estejam disponíveis de forma transparente nos equipamentos do chão de fábrica e na nuvem, para acesso remoto sem qualquer distorção ou corrupção causada pelo meio (SMIT et al., 2016; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a). Com a necessidade de integração de todas as etapas da pirâmide de automação, surge a demanda de ferramentas que tenham a capacidade de suportar a comunicação entre os sistemas, que reconheça as interfaces e os formatos dados compartilhados (WEYER et al., 2015; WITTENBERG, 2016).

### **Capacitação técnica**

Globalmente é reconhecida a deficiência de capacitação técnica dos *players*, fazendo com que não fiquem claros os detalhes para implementação e utilização, principalmente das tecnologias mais novas, onde o operador deve ter habilidades técnicas bem treinadas (THEORIN et al., 2015; WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Mesmo tratando de algumas tecnologias existentes desde muito tempo, ainda falta um entendimento comum com respeito a utilização integrada no ambiente de manufatura, necessitando de uma documentação sistemática de todos os passos implementados (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a). O nível de tecnologia existente nos equipamentos, devido à capacidade de comunicação e processamento, bem como a necessidade destes equipamentos estarem interligados e integrados pelos diversos níveis da pirâmide de automação, faz com que os engenheiros e projetistas que desenvolvem os sistemas de automação necessitem uma formação técnica polivalente e abrangente. No nível de chão de fábrica, considerando-se que as máquinas tomam mais tarefas para si, os operadores têm cada vez mais a função de supervisores de um sistema automatizado de produção que, devido ao acréscimo de capacidade tecnológica, principalmente no que diz respeito à comunicação e processamento, tornam-se bastante complexos comparados aos sistemas de automação convencionais e *standalone* (não interligados), desta forma, os operadores precisam ter uma boa capacitação para manter o sistema em funcionamento e para interpretar as informações fornecidas. A função manutenção também tem seu perfil técnico alterado em função de que os sistemas Cyber Físicos têm alta capacidade de diagnóstico e são autoconfiguráveis. A necessidade da gestão do conhecimento também evidencia-se como um desafio, uma vez que o conhecimento implícito dos operadores do sistema deve ser considerado para juntamente com os dados coletados, servirem de base para a tomadas de decisões, ou seja,



além de treinar os operadores nas novas tecnologias, é preciso que a indústria capitalize as experiências e retenha conhecimentos importantes de forma sistematizada e estruturada, de modo a agregar valor (SMIT et al., 2016; WITTENBERG, 2016).

### **Questões culturais**

A indústria ainda é bastante conservadora, trabalhando com margens apertadas, não havendo espaço para incertezas no plano estratégico, de modo que seus gestores não se permitem ser agressivos no que diz respeito a inovação e novas tecnologias (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a). Existem ainda resistências internas quanto à aplicação de novas tecnologias, uma vez que a introdução destas demanda gera um ajuste na força de trabalho, seja na alteração das rotinas e procedimentos, seja em treinamentos e outras atividades de qualificação o que nem sempre é bem recebido, pois estas atividades “extras” podem ser vistas como aumento na carga de trabalho ou aumento nas responsabilidades (SMIT et al., 2016).

### **Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão**

Os processos de tomada de decisão ficam mais complicados quando se precisa levar em consideração a aplicação de tecnologias emergentes, pois enquanto existe uma grande quantidade de informações técnicas e exemplos de aplicações dos processos convencionais, a literatura ainda é muito escassa com respeito às tecnologias relacionadas à indústria 4.0, seja no aspecto técnico e principalmente no aspecto econômico, uma vez que uma literatura técnica mínima é fornecida pelos fabricantes do equipamento ou desenvolvedores da tecnologia, enquanto que estudos econômicos dependem de aplicação e coleta de resultados (WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

### **Defasagem tecnológica**

Considerando-se que na maioria dos casos trata-se de uma atualização do parque fabril, em detrimento de uma linha ou fábrica totalmente nova, cada vez que um novo equipamento é adicionado, todos os demais precisam ser atualizados para interagirem com este. Devendo considerar ainda que equipamentos mais antigos possuem protocolos de comunicação específicos, o que dificulta mais ainda a comunicação e integração às novas tecnologias da indústria 4.0 (THEORIN et al., 2015).

### **Riscos aos direitos de propriedade intelectual**

A facilidade de digitalização, conversão em um modelo 3D e impressão de um produto torna viável o processo de engenharia reversa e estudo de *Benchmarking*, propiciando assim a

reprodução como se fosse uma simples cópia, de produtos que tiveram altos investimentos em desenvolvimento. O assunto da propriedade intelectual tem causado preocupação e pode trazer consequências econômicas severas e ainda precisa ser melhor analisado (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). O modelo de negócio de cooperação e compartilhamento proposto pela indústria 4.0, onde formam-se alianças estratégicas com compartilhamento de dados em tempo real, conceitos de logística integrada *inter-company* e colaboração ampla entre clientes, parceiros e fornecedores, traz um risco muito grande de perdas ou uso indevido de informações estratégicas (SMIT et al., 2016).

### **Vulnerabilidade de dados expostos na nuvem**

Ao conectar sistemas físicos à grande rede para compartilhar dados e gerar informações, as empresas expõem os dados de manufatura, parâmetros de processo, dados de produtividade e qualidade ao acesso de pessoas não autorizadas e até mesmo ao ataque de *hackers*. Uma falsificação ou modificação, intencional ou não, pode trazer severos prejuízos à corporação. Existe uma grande preocupação com a segurança e proteção destes dados e não existe uma regulamentação clara de proteção dos mesmos (CARDOSO et al., 2017; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a). Considerando-se que a tecnologia da informação moderna é baseada em redes públicas e sistema de informação subcontratados, as empresas ainda não encontraram uma solução segura para proteger suas informações de terceiros ou até mesmo da concorrência (WITTENBERG, 2016).

### **Legislação brasileira (NR12)**

Nas configurações da indústria tradicional, e por conta das regulamentações de segurança, homens e máquinas trabalham fisicamente separados, com o intuito de evitar acidentes causados por colisões não previstas devido aos padrões de movimentos dos robôs não serem claramente conhecidos por operadores e por cargas de força excessiva. Desta forma as tarefas a serem executadas por robôs e por seres humanos são claramente segregadas e definidas. Por outro lado, os pressupostos da indústria 4.0 assumem que a interação deve ser irrestrita, ou seja, as interfaces homem-máquina não são somente telas ou *smart* fones, o operador tem uma interação muito maior com as demais partes da máquina, sejam atuadores, sensores, braços mecânicos, garras, etc, além de tarefas compartilhadas (SMIT et al., 2016). No caso do Brasil, sob o ponto de vista da NR12, é proibido o contato direto entre o operador e qualquer equipamento que tenha movimento mecânico ou que esteja energizado (BERNARDI; ANDR;

REIS, 2014), o que dificulta a interação homem-máquina, e a utilização de equipamentos colaborativos, o que é um dos fundamentos da indústria 4.0.

#### **Falta de infraestrutura (velocidade da internet)**

Ao considerar o armazenamento, a análise e o processamento na nuvem de uma quantidade enorme de dados produzidos pela manufatura, e que devem ser transmitidos pela internet, uma das fragilidades que aparece é a limitação da largura de banda da internet, bem como a qualidade da telefonia móvel, causando congestionamentos e atrasos nas análises (CARDOSO et al., 2017; SMIT et al., 2016; WITTENBERG, 2016). No Brasil, a infraestrutura de internet e telefonia móveis são ainda mais deficientes se comparada aos Estados Unidos ou países da Europa, que já sentem esta dificuldade. Infraestruturas de *RFid* estão limitadas ao perímetro na fábrica, de modo que a rastreabilidade pode ser perdida ao longo da cadeia ou precisa ser controlada manualmente (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016; GOMES et al., 2016).

### **3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O presente estudo pode ser caracterizado como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas na indústria. Em relação à abordagem é classificada como pesquisa quali-quantitativa, pois pretende levantar qualitativamente a percepção de profissionais sobre o nível de implementação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0 e também sobre a importância dos seus fatores motivadores e barreiras. Por outro lado, pretende levantar quantitativamente a correlação entre os fatores e o nível de implementação através de ferramentas estatísticas. Quanto aos objetivos, o estudo caracteriza-se como pesquisa exploratória e descritiva, uma vez que pretende trazer maior familiaridade com o assunto indústria 4.0 e a aplicação de suas tecnologias na manufatura, por meio de levantamento bibliográfico e entrevistas com profissionais utilizando-se um questionário fechado e também levantar a possível influência entre os fatores e o nível de implementação das tecnologias. Finalmente, em relação aos procedimentos, o estudo utiliza pesquisa bibliográfica de referências teóricas por meio de artigos científicos, livros, Websites e relatórios de órgãos governamentais e levantamento, uma vez que foi realizada uma pesquisa de campo com profissionais atuantes na indústria (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; GIL, 2009).

O Método de trabalho empregado seguiu as seguintes etapas, conforme descrito a seguir:

i) levantamento das tecnologias da indústria 4.0 e fatores inibidores e motivadores na

implementação na manufatura; ii) construção do instrumento de pesquisa; iii) aplicação do instrumento; iv) análise de resultados.

Na primeira etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de identificar a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na manufatura e os principais fatores motivadores e inibidores para a implementação destas tecnologias. Para isto, foram consultadas as bases de dados *Web of Science*, *Science Direct* e *Scholar Google*, utilizando-se as expressões: *Industry 4.0*, *IoT*, *IIoT*, *advanced manufacturing*, *additive manufacturing*, *Big Data analytics*, *challenges & industry 4.0*; *Barriers & industry 4.0*, entre outras. As tecnologias abordadas neste estudo foram levantadas e priorizadas no estudo de Bragança et al (2017). Para a validação e priorização dos fatores facilitadores e inibidores, a lista preliminar levantada na pesquisa bibliográfica foi verificada a partir de entrevista com 2 profissionais da indústria e 2 pesquisadores da área.

Na segunda etapa, foi construído o instrumento de pesquisa a partir dos fatores motivadores, barreiras e tecnologias da indústria 4.0 identificadas no contexto da manufatura. O instrumento foi estruturado em quatro blocos de questões. O primeiro bloco reuniu questões de caracterização do perfil do respondente e da empresa de atuação. O segundo bloco questionou sobre o nível de implementação das tecnologias da indústria 4.0 na empresa do respondente, usando uma escala de Likert de 5 pontos, onde 1: não implementada; 2: começando a implementar; 3: parcialmente implementada; 4: consideravelmente implementada e 5: completamente implementada. Neste bloco o conjunto de onze tecnologias apresentadas no referencial teórico foram incluídas.

O terceiro e quarto bloco tiveram por propósito, avaliar a relevância dos motivadores e dos inibidores, respectivamente, para a implementação das tecnologias da indústria 4.0 no contexto da manufatura. Para isso, foi usada uma escala de Likert de 5 pontos, onde 1: sem relevância; 2: pouca relevância; 3: média relevância; 4: consideravelmente relevante e 5: totalmente relevante. Nestes blocos foram considerados os motivadores e inibidores levantados no referencial teórico. O instrumento completo é apresentado no Apêndice A.

A aplicação do instrumento foi realizada na terceira etapa a partir de uma pesquisa utilizando-se um formulário no *google docs*, o qual foi encaminhado por e-mail, ou via LinkedIn no período entre 25 Fev 2019 e 30 Mar 2019, selecionando profissionais atuantes na indústria brasileira, em diversos segmentos. Foram encaminhados 150 questionários, obtendo-se 71 respostas completas. A amostra de respondentes foi selecionada por conveniência, a partir

da rede de contatos profissionais de um dos autores. Procurou-se abranger o máximo possível de segmentos da indústria, contando com profissionais em posições estratégicas, táticas e operacionais, com um tempo mínimo de atuação de 5 anos de experiência profissional em áreas técnicas, relacionadas à manufatura, de forma a considerar um nível relevante de conhecimento na área de atuação.

Os dados coletados após a aplicação do instrumento foram organizados em planilha Excel, na quarta etapa da pesquisa. Inicialmente foi realizada uma análise descritiva dos dados, para caracterizar o perfil dos respondentes, apresentados na tabela 1 onde evidencia-se que na sua grande maioria, os respondentes atuam nos setores metal-mecânico e indústria automotiva, sendo 63% com mais de 15 anos de experiência no setor e 52% ocupando cargos de gerência e diretoria.

| Categoria           | Descrição         | (%)                     | Categoria               | Descrição           | (%) |
|---------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----|
| Segmento de atuação | Agronegócio       | 4%                      | Tempo de experiência    | 0 a 5 anos          | 6%  |
|                     | Alimentício       | 3%                      |                         | 5 a 10 anos         | 14% |
|                     | Automotivo        | 13%                     |                         | 10 a 15 anos        | 17% |
|                     | Couro calçadista  | 4%                      |                         | 15 a 20 anos        | 15% |
|                     | Eletro-eletrônico | 13%                     |                         | 20 a 25 anos        | 20% |
|                     | Metal-mecânico    | 39%                     | acima de 25 anos        | 28%                 |     |
|                     | Químico           | 3%                      | Perfil dos respondentes | Gerência            | 34% |
|                     | Serviços          | 7%                      |                         | Engenheiro/Analista | 26% |
| Outros              | 14%               | Supervisor/Especialista |                         | 19%                 |     |
|                     |                   | Diretoria               |                         | 17%                 |     |
|                     |                   |                         | Nível Técnico           | 4%                  |     |

Tabela 1– Dados demográficos dos respondentes

Com o objetivo de verificar o nível de implementação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0 e também de verificar quais fatores motivadores e inibidores foram considerados mais importantes pelos respondentes da pesquisa, foi realizada uma análise descritiva calculando-se a média e desvio-padrão para cada um destes fatores, apresentando-se os resultados em forma de Pareto.

Finalmente, foi realizada uma análise de regressão, com o objetivo de verificar a associação entre o nível de implementação das tecnologias e os fatores motivadores para a sua implementação, gerando o modelo 1 da Figura 2 e para verificar a correlação entre as barreiras e os fatores motivadores, gerando o modelo 2 da mesma figura. A seleção dos fatores foi realizada pelo teste F, utilizando-se o software estatístico IBM SPSS, versão 2.0. Os modelos

testados neste estudo que apresentaram resultados significativos são apresentados na Figura 2, onde as variáveis independentes são as tecnologias e as barreiras da indústria 4.0 e a variável dependente são os fatores motivadores para aplicação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0, sendo que as tecnologias são analisadas de forma positiva, ou seja diretamente proporcionais e as barreiras são analisadas de forma negativa, ou seja inversamente proporcional com relação aos fatores motivadores. Desta forma, o modelo 1 permitiu analisar se o nível de aplicação de determinada tecnologia, contribui para a potencialização de um determinado fator motivador, enquanto o modelo 2 permitiu analisar se a existência de uma determinada barreira, contribui para a minimização de determinado fator motivador. Outros modelos de regressão foram testados, mas não apresentaram resultados significativos.

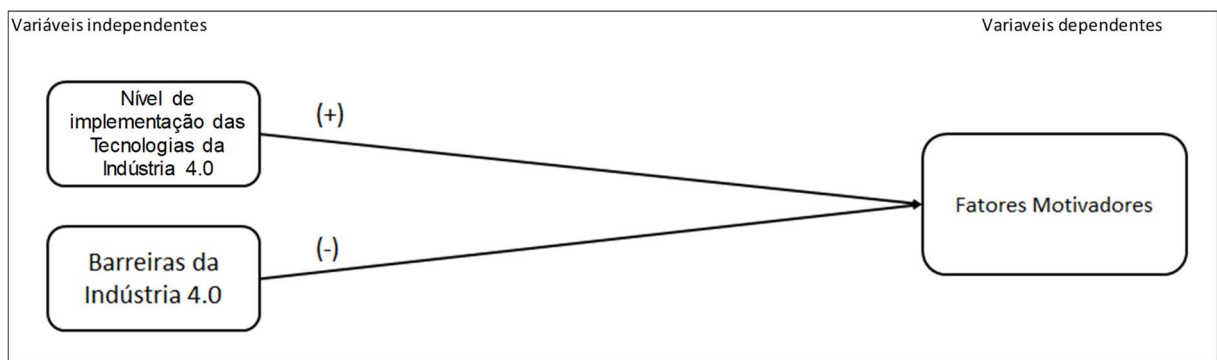


Figura 2– Modelos que apresentaram resultado significativo

### 3.4. RESULTADOS

O gráfico da figura 3 mostra o nível de implantação das tecnologias da indústria 4.0, percebido pelos respondentes da pesquisa, onde os sistemas cyber físicos e a computação na nuvem, as duas tecnologias o maior nível de implantação, apresentaram média de 2,4 enquanto a inteligência artificial apresenta uma média de 1,55. Estes dados demonstram que a indústria brasileira ainda utiliza pouco as tecnologias relacionadas à indústria 4.0.

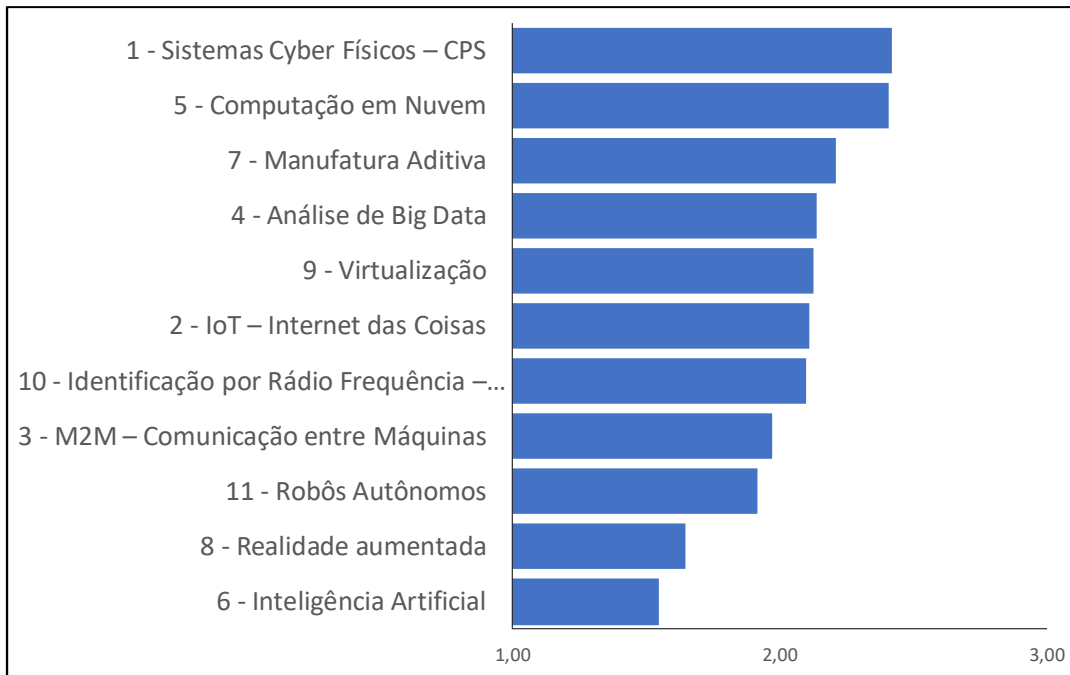


Figura 3 – Nível de implementação das Tecnologias associadas à Indústria 4.0

Com respeito à importância dos fatores motivadores, os resultados apresentados na figura 4 mostram que aqueles ligados à produtividade e redução de custo foram considerados os mais importantes, enquanto os fatores relacionados à customização e aumento de valor agregado aos produtos tiveram um grau menor de importância, novamente nota-se uma necessidade de aprofundar a difusão do conhecimento sobre a indústria 4.0, onde, dentre as principais vantagens apresentadas estão justamente a possibilidade de customização em massa (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016; GAUB, 2016; KOREN, 2010; ZHONG et al., 2013) e a possibilidade de agregar valor em produtos com características *smarts*, onde eles são vistos como uma plataforma de serviços (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013; LIAO et al., 2016; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016b).

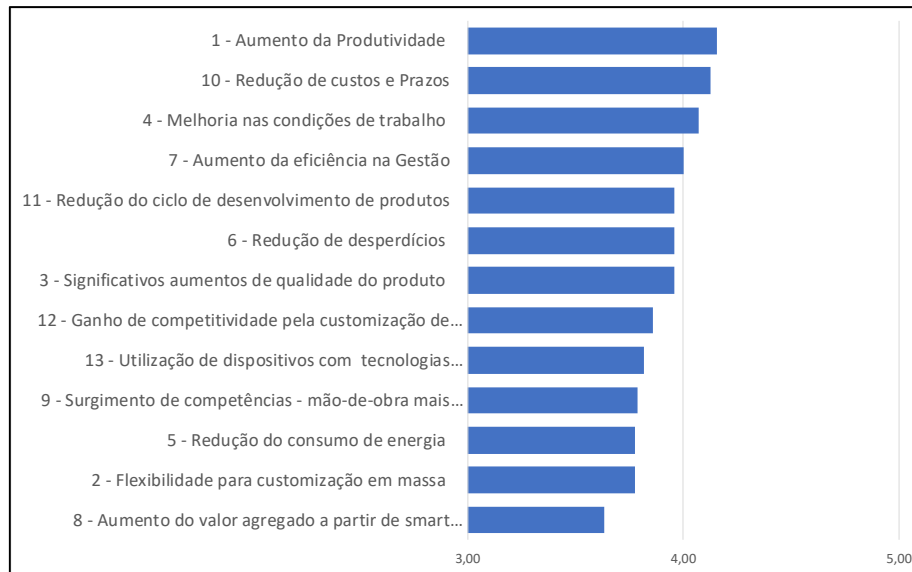


Figura 4 – Fatores motivadores para a implementação das Tecnologias da Indústria 4.0

A falta de capital para investimentos e a defasagem tecnológica foram apontados pelos respondentes da pesquisa como os principais fatores inibidores à implementação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0 (figura 5), enquanto fatores relacionados a riscos de propriedade intelectual e exposição de dados na nuvem tiveram um grau menor de importância. Os resultados mostram que as empresas no Brasil ainda não estão preparadas para investir em novas tecnologias e também a idade do parque fabril instalado apresenta uma barreira à evolução tecnológica. Já os fatores considerados menos importantes mostram que o nível de conhecimento sobre o assunto não é suficiente para que a indústria tenha este tipo de preocupação.



Figura 5 – Fatores Inibidores para a implementação das Tecnologias da Indústria 4.0



Os resultados da pesquisa, após a aplicação da análise de regressão nos modelos, permitiram comprovar a normalidade dos dados, pois através dos resultados de assimetria e Curtose, mostrados nas tabelas 2 e 3, apresentaram valores entre -2,58 e +2,58 (HAIR et al., 2009), tanto para a importância das tecnologias da indústria 4.0 quando analisadas em relação aos fatores motivadores (Tabela 2), quanto para as barreiras, quando analisadas referentes aos fatores motivadores (Tabela 3), estas tabelas mostram que todas as variáveis selecionadas apresentam um fator  $p < 0,1$ .

|    | Variáveis   | Média | Desvio padrão | Assimetria | Curtose |
|----|---|-------|---------------|------------|---------|
| 1  | Sistemas Cyber Físicos                                  | 2.423 | 1.359         | 0.484      | -0.974  |
| 2  | IoT   | 2.113 | 1.326         | 0.846      | -0.566  |
| 3  | M2M   | 1.972 | 1.195         | 0.883      | -0.453  |
| 4  | Análise de Big Data                                     | 2.141 | 0.990         | 0.619      | 0.219   |
| 5  | Computacao em Nuvem                                     | 2.409 | 1.249         | 0.305      | -1.112  |
| 6  | Inteligência Artificial                                 | 0.315 | 0.464         | 1.136      | 0.046   |
| 7  | Manufatura Aditiva                                      | 2.211 | 1.393         | 0.719      | -0.890  |
| 8  | Realidade aumentada                                     | 1.648 | 1.084         | 1.720      | 2.269   |
| 9  | Virtualização   | 2.127 | 1.393         | 0.876      | -0.579  |
| 10 | Identificação por RfId                                  | 2.099 | 1.209         | 0.704      | -0.746  |
| 11 | Robôs Autônomos   | 1.916 | 1.381         | 1.194      | -0.066  |
| i  | Redução do consumo de energia                           | 3.775 | 1.124         | -0.657     | -0.481  |
| ii | Ganho de competitividade pela customização dos produtos | 3.859 | 1.073         | -0.854     | 0.342   |

\*\* $p < 0.01$ ; \* $p < 0.05$ .

Tabela 2 – Análise descritiva do modelo 1 (Nível de implementação x fatores motivadores)

|     | Variáveis   | Média | Desvio padrão | Assimetria | Curtose |
|-----|---|-------|---------------|------------|---------|
| 1   | Falta de capital de investimentos   | 4.056 | 1.170         | -1.049     | -0.041  |
| 2   | Custos relacionados a tecnologia e retorno incerto dos investimentos            | 3.901 | 1.084         | -0.560     | -0.712  |
| 3   | Dificuldade de padronização da comunicação em toda a cadeia                     | 3.732 | 0.940         | -0.388     | -0.178  |
| 4   | Capacitação técnica   | 3.916 | 0.996         | -0.718     | 0.320   |
| 5   | Questões culturais  | 3.648 | 1.220         | -0.500     | -0.721  |
| 6   | Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão                          | 3.690 | 0.994         | -0.682     | 0.165   |
| 7   | Defasagem tecnológica   | 3.958 | 1.139         | -0.810     | -0.323  |
| 8   | Riscos aos direitos de propriedade intelectual                                  | 2.775 | 1.267         | 0.223      | -0.952  |
| 9   | Vulnerabilidade de dados expostos na  | 3.070 | 1.345         | -0.059     | -1.165  |
| 10  | Legislação brasileira (NR12)  | 3.423 | 1.272         | -0.335     | -0.794  |
| 11  | Falta de infraestrutura (velocidade da internet e qualidade da telefonia Móvel) | 3.578 | 1.284         | -0.532     | -0.765  |
| i   | Flexibilidade para customização em massa  | 3.775 | 1.209         | -0.698     | -0.435  |
| ii  | Significativos aumentos de qualidade do produto                                 | 3.958 | 1.188         | -1.072     | 0.465   |
| iii | Melhoria das condições de trabalho  | 4.070 | 1.060         | -1.032     | 0.470   |
| iv  | Redução de desperdícios   | 3.958 | 1.127         | -1.148     | 0.779   |
| v   | Utilização de dispositivos com tecnologias conhecidas                           | 3.817 | 1.060         | -0.659     | -0.147  |

\*\* $p < 0.01$ ; \* $p < 0.05$ .

Tabela 3 – Análise descritiva do modelo 2 (barreiras x fatores motivadores)

Foi verificada também a multicolinearidade (HAIR et al., 2009) entre as variáveis independentes, onde obteve-se um Fator de Inflação de Variância (VIF), menor do que 4,0 para as variáveis independentes relacionadas às tecnologias da indústria 4.0, conforme Tabela 4, e menor do que 2,5 conforme Tabela 5, para as variáveis independentes relacionadas às barreiras, mostrando uma baixa influência entre as variáveis independentes de ambos os modelos, cujo *threshold* deve ser menor do que 10 (HAIR et al., 2009).

Os resultados das regressões múltiplas do modelo 1 (Tabela 4) mostraram que, dentre os 13 fatores motivadores, somente dois deles apresentaram significância estatística na correlação com as tecnologias relacionadas à indústria 4.0. Na regressão 1, o fator Redução do consumo de energia ( $F = 1.836$ ,  $p = 0.068$ ) apresenta uma dependência positiva do nível de aplicação das tecnologias, *M2M* ( $\beta = 0.413$ ,  $p = 0.048$ ) e Robôs autônomos ( $\beta = 0.273$ ,  $p = 0.051$ ), enquanto que apresentou uma dependência negativa do nível de aplicação da Manufatura aditiva ( $\beta = -0.265$ ,  $p = 0.051$ ). Quanto à regressão, o fator motivador Ganho de competitividade pela customização dos produtos ( $F = 1.689$ ,  $p = 0.098$ ) é influenciado positivamente pelo nível de aplicação dos Sistemas Cyber Físicos ( $\beta = 0.306$ ,  $p = 0.096$ ) e negativamente por *IoT* ( $\beta = -0.466$ ,  $p = 0.036$ ).

| Tecnologias da Indústria 4.0  | Fatores Motivadores           |   |
|---|-------------------------------|---|
|   | Redução do consumo de energia | Ganho de competitividade pela customização dos produtos |
| Sistemas Cyber Físicos  | -0.102                        | <b>0.306*</b>   |
| IoT   | -0.243                        | <b>-0.466**</b>   |
| M2M   | <b>0.413**</b>                | 0.299   |
| Análise de Big Data   | 0.174                         | 0.080   |
| Computacao em Nuvem   | 0.011                         | 0.003   |
| Inteligência Artificial   | -0.279                        | -0.028  |
| Manufatura Aditiva  | <b>-0.265*</b>                | -0.113  |
| Realidade aumentada   | 0.114                         | 0.015   |
| Virtualização   | 0.078                         | -0.224  |
| Identificação por RFId  | 0.101                         | 0.142   |
| Robôs Autônomos   | <b>0.273*</b>                 | 0.221   |
| Teste F   | 1.836*                        | 1.689*  |
| R <sup>2</sup>  | 0.255                         | 0.240   |
| R <sup>2</sup> Ajustado   | 0.116                         | 0.098   |
| Notas: n=71 empresas. <sup>1</sup> Coeficientes de regressão não padronizados; * p<0.1.; **p<0.05; ***p<0.01. |                               |   |
| VIF   | <4.0                          |   |

Tabela 4 – Regressão múltipla referente ao modelo 1

O modelo 2, que analisou a influência das barreiras na potencialização dos fatores motivadores, cujos resultados são mostrados na Tabela 5, teve cinco regressões a serem analisadas, salientando-se que o modelamento deve ser analisado de forma oposta, ou seja, um  $\beta < 0$  mostra influência positiva enquanto que um  $\beta > 0$  mostra influência negativa. A regressão 3 – Flexibilidade para customização em massa ( $F = 1.976$ ,  $p = 0.047$ ), mostra que este fator motivador tem uma influência negativa da Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão ( $\beta = 0.321$ ,  $p = 0.041$ ) e da Legislação brasileira (NR12) ( $\beta = 0.299$ ,  $p = 0.038$ ) e que é influenciado positivamente pela barreira referente a Riscos aos direitos de propriedade intelectual ( $\beta = -0.449$ ,  $p = 0.003$ ). Na Regressão 4 – Significativos aumentos de qualidade do produto ( $F = 2.094$ ,  $p = 0.035$ ), fica evidenciada uma influência negativa na potencialização deste fator pela existência das barreiras: Falta de capital de investimentos ( $\beta = 0.323$ ,  $p = 0.019$ ) e Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão ( $\beta = 0.294$ ,  $p = 0.058$ ), sendo que nenhuma das barreiras influencia positivamente este fator motivador. A Regressão 5 – Melhoria das condições de trabalho ( $F = 1.936$ ,  $p = 0.053$ ) apresenta influência também negativa relacionada à existência das barreiras Falta de capital de investimentos ( $\beta = 0.266$ ,  $p = 0.053$ ) e Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão ( $\beta = 0.346$ ,  $p = 0.028$ ). Quanto à regressão 6 – Redução de desperdícios ( $F = 3.079$ ,  $p = 0.003$ ), as barreiras Dificuldade de padronização da comunicação em toda a cadeia ( $\beta = -0.288$ ,  $p = 0.060$ ) e questões culturais ( $\beta = -0.301$ ,  $p = 0.020$ ) têm uma influência positiva na potencialização deste fator motivador, enquanto que a Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão ( $\beta = 0.402$ ,  $p = 0.007$ ) e barreiras ligadas à Legislação brasileira (NR12) ( $\beta = 0.298$ ,  $p = 0.027$ ) apresentam uma influência negativa. Por fim, a regressão 7 – Utilização de dispositivos com tecnologias conhecidas ( $F = 3.074$ ,  $p = 0.003$ ) mostra uma influência negativa da Defasagem tecnológica ( $\beta = 0.220$ ,  $p = 0.073$ ) e Falta de infraestrutura (velocidade da internet e qualidade da telefonia Móvel) ( $\beta = 0.486$ ,  $p = 0.001$ ) e uma influência positiva das barreiras ligadas aos Riscos aos direitos de propriedade intelectual ( $\beta = -0.227$ ,  $p = 0.095$ ).

| Barreiras da Indústria 4.0  | Fatores Motivadores                      |   |                                    |                         |   |
|---|--|---|------------------------------------|-------------------------|---|
|   | Flexibilidade para customização em massa | Significativos aumentos de qualidade do produto | Melhoria das condições de trabalho | Redução de desperdícios | Utilização de dispositivos com tecnologias conhecidas |
| Falta de capital de investimentos   | 0.152                                    | <b>0.323**</b>                                  | <b>0.266**</b>                     | 0.079                   | 0.050   |
| Custos relacionados a tecnologia e retorno incerto dos investimentos            | -0.061                                   | -0.161  | -0.178                             | -0.063                  | -0.098  |
| Dificuldade de padronização da comunicação em toda a cadeia                     | 0.044                                    | -0.026  | 0.143                              | <b>-0.288*</b>          | 0.113   |
| Capacitação técnica   | -0.074                                   | 0.054   | -0.114                             | 0.210                   | -0.059  |
| Questões culturais  | -0.011                                   | -0.178  | -0.024                             | <b>-0.301**</b>         | 0.069   |
| Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão                          | <b>0.321**</b>                           | <b>0.294*</b>                                   | <b>0.346**</b>                     | <b>0.402***</b>         | 0.093   |
| Defasagem tecnológica   | -0.070                                   | -0.048  | -0.019                             | 0.170                   | <b>0.220*</b>   |
| Riscos aos direitos de propriedade intelectual                                  | <b>-0.449***</b>                         | -0.201  | -0.140                             | -0.173                  | <b>-0.227*</b>  |
| Vulnerabilidade de dados expostos na nuvem                                      | 0.128                                    | 0.122   | 0.046                              | -0.039                  | -0.077  |
| Legislação brasileira (NR12)  | <b>0.299**</b>                           | 0.215   | 0.191                              | <b>0.298**</b>          | 0.112   |
| Falta de infraestrutura (velocidade da internet e qualidade da telefonia Móvel) | 0.102                                    | 0.136   | 0.106                              | 0.195                   | <b>0.486***</b>                                       |
| Teste F   | 1.976**                                  | 2.094**   | 1.936*                             | 3.079***                | 3.074***  |
| R <sup>2</sup>  | 0.269                                    | 0.281   | 0.265                              | 0.365                   | 0.364   |
| R <sup>2</sup> Ajustado   | 0.133                                    | 0.147   | 0.128                              | 0.246                   | 0.246   |

Notas: n=71 empresas. Coeficientes de regressão não padronizados; \* p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01.

|     |      |
|-----|------|
| VIF | <2.5 |
|-----|------|

Tabela 5 – Regressão múltipla referente ao modelo 2

### 3.5. DISCUSSÕES

#### 3.5.1. Tecnologias x Fatores Motivadores

Os resultados da regressão linear verificados no modelo 1, apresentados na Tabela 4, onde se verificou a influência do nível de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nos benefícios esperados pelos fatores motivadores mostraram que a possibilidade de redução de consumo de energia sofre uma influência direta do nível de aplicação das tecnologias *Machine to Machine communication* e Robôs autônomos, enquanto que uma influência negativa do nível de utilização de manufatura aditiva. A relação direta entre a aplicação da comunicação entre máquinas e a redução de consumo de energia é bastante perceptível, considerando-se a otimização da utilização de equipamentos o auto balanceamento de linha. Além disso, as máquinas não alocadas para produção podem entrar automaticamente em modo *Stand by*, sem a necessidade de desconexão física (SMIT et al., 2016). Quanto à percepção da influência da utilização dos robôs autônomos na redução do consumo de energia, pode ser explicado por três fatores: a substituição de máquinas e equipamentos pesados de alto consumo de energia e altos

custos de manutenção, por robôs que têm baixo consumo e baixo custo de manutenção, além da diminuição do tempo de execução das tarefas, diminuindo automaticamente o tempo de ciclo. O terceiro fator que pode explicar esta relação direta deve-se aos robôs terem capacidade de trabalhar em características mais severas de temperatura, e baixa iluminação, se comparados a operadores, diminuindo o consumo de energia para equipamentos de refrigeração e sistemas de iluminação com alto consumo energético. Desta forma, a utilização de robôs em chão de fábrica contribui com o aumento da eficiência dos recursos e processos, confirmando o estudo de Wittenberg (2016). Quanto à relação inversa entre a tecnologia de manufatura aditiva (Impressão 3D) com a redução do consumo de energia, o resultado mostra-se surpreendente. Uma possível explicação é o fato de a manufatura aditiva ser utilizada principalmente para o desenvolvimento de produtos (BAUMERS et al., 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015) em detrimento à utilização para produção, uma vez que esta tecnologia ainda apresenta restrições de definições de padrões de qualidade, disponibilidade de matéria-prima e baixa capacidade de volume produtivo (DALENOGARE et al., 2018). Considerando-se o universo da pesquisa, que foi realizada com profissionais atuantes na indústria brasileira, o nível de aplicação desta tecnologia é relativamente baixo no país, o que pode explicar a relação apresentada.

O segundo fator motivador que apresentou dependência do nível de implementação das tecnologias foi o Ganho de competitividade pela customização de produtos. Os resultados da regressão múltipla mostraram uma influência direta do nível de implementação de sistemas ciberfísicos ( $\beta = 0,306$ ) e inversa com relação do nível de aplicação da Internet das coisas ( $\beta = -0,466$ ), o primeiro resultado confirma estudos da literatura (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015b), que apontam que a aplicação de sistemas ciberfísicos permite a customização em massa, habilitando um canal de interação entre o cliente, ou consumidor final e a fábrica, de modo a atender diretamente as demandas do mercado (GAUB, 2016; LEE; BAGHERI; KAO, 2015). Quanto à relação indireta deste fator motivador com o nível de implementação da Internet das coisas, não foi possível encontrar resultados similares na literatura. Pelo contrário, como uma plataforma base e um dos principais pilares da indústria 4.0, a internet das coisas reforçaria a competitividade e permite um canal de comunicação direta entre a manufatura e o mercado, alavancando a competitividade (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016a; WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015a; WANG et al., 2016). Uma possível explicação para este resultado adverso é o universo pesquisado, considerando-se o ainda baixo nível de implementação e conhecimento acerca desta tecnologia, principalmente no que diz respeito à

customização em massa e a conexão direta, onde o consumidor final poderia definir e configurar à distância o produto que quer adquirir (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016; SMIT et al., 2016; TUOMINEN, 2016).

### **3.5.2. Barreiras x Fatores Motivadores**

Os resultados da regressão linear verificados no modelo 2 estão mostrados na tabela 5, onde se verifica a influência das barreiras para a aplicação das tecnologias nos benefícios esperados para a potencialização dos fatores motivadores. O modelo mostrou que a expectativa de benefício com a flexibilidade para customização em massa é afetada de forma negativa pela existência das barreiras relacionadas à falta de conhecimento de cases práticos para a tomada de decisão e à legislação Brasileira, especificamente a NR12, enquanto que positivamente pela existência de barreiras relacionadas ao risco à propriedade intelectual. Uma possível justificativa, corroborada pela literatura para as influências negativas, está no fato de que uma empresa que não é dinâmica na tomada de decisões, por falta de conhecimento, não implementará rapidamente as tecnologias da indústria 4.0 e não potencializará a maioria dos seus benefícios esperados. Conforme evidenciado pelo modelo, além da flexibilidade para customização em massa, onde o termo flexibilidade está diretamente relacionado à tomada de decisão esta barreira pode inibir os benefícios esperados com outros fatores motivadores, tais como: Aumento da qualidade do produto, melhoria das condições de trabalho e redução de desperdícios, ou seja quanto mais burocrático e lento for o processo de tomada de decisões, menor serão os benefícios esperados com o avanço da indústria 4.0 (GHOBAKHLOO, 2018; KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016; SUAREZ; CALVO-MORA; ROLDN, 2016). Com respeito à existência da barreira relacionada à legislação brasileira, principalmente a NR12, esta relação é muito clara, uma vez que a referida legislação engessa toda a flexibilidade no chão de fábrica, aumentando em muito o custo das máquinas pela necessidade de proteções, colocando barreiras físicas entre os operadores e as máquinas, esta barreira tem também uma influência negativa nos benefícios esperados pela redução de desperdícios, novamente a aplicação de equipamentos automáticos e robôs poderia diminuir consideravelmente o desperdício de tempo e matéria-prima, mas a norma acaba limitando a utilização de tais equipamentos (BERNARDI; ANDR; REIS, 2014; SMIT et al., 2016). O fato de uma empresa que apresenta barreiras quanto à proteção de propriedade intelectual potencializar os benefícios esperados com a flexibilização em massa, não é explicado pela literatura pesquisada, ao contrário, pois as alianças estratégicas e a interação de clientes podem colocar em risco as informações estratégicas da empresa (SMIT et

al., 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015), quanto a esta barreira potencializar os benefícios esperados pela utilização de dispositivos com tecnologias conhecidas, pode ser claramente evidenciado pela utilização de *Smartphones, tablets e Google glasses*, além de outros dispositivos *wearables* (AN; LEE; PARK, 2008; KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; SMIT et al., 2016), que por serem baseados em utilização de *Apps* e trazerem sistemas operacionais residentes que não permitem acesso do usuário, podem ser utilizados sem ameaçar o acesso a informações estratégicas.

A existência da barreira de falta de capital de investimentos prejudica a percepção dos benefícios esperados com o aumento da qualidade do produto e com melhoria nas condições de trabalho, pois os investimentos necessários em tecnologias da indústria 4.0 são relevantes e algumas empresas não conseguem perceber que o custo da não qualidade é muito maior que o investimento em qualidade (ROSENFELD, 2009). Além disso, as prioridades de investimento são normalmente alocadas para outras áreas onde se percebe um retorno mais rápido, o benefício de um colaborador satisfeito é pouco perceptível no resultado financeiro da empresa. A falta de capital para investimentos em tecnologias que melhorem a qualidade do produto e melhorias de condições de trabalho, por meio de inovações e aplicação de novas tecnologias é confirmada por alguns autores que afirmam que uma das dificuldades para implementação das tecnologias da indústria 4.0 é o retorno incerto dos investimentos (BABICEANU; SEKER, 2016; THEORIN et al., 2015).

A percepção de benefícios pela redução de desperdícios é influenciada positivamente pela existência de barreiras relacionadas às questões culturais e pela dificuldade de padronização para a comunicação em toda a cadeia. Quanto às questões culturais, faz sentido, à medida que uma empresa que tem, por exemplo, uma cultura *Lean* consolidada, irá direcionar os esforços na implementação das tecnologias, sem perder o foco no *Lean*, que é exatamente baseado na redução de desperdícios. Além disso, existe uma preocupação muito grande em relacionar a metodologia *Lean* com os preceitos da indústria 4.0 (AHMED; AMAGOH, 2010; EAIDGAH et al., 2016; KOLBERG; KNOBLOCH; ZÜHLKE, 2017; KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016). No que diz respeito a barreiras relacionadas à dificuldade de padronização pela falta de um protocolo de comunicação, pode-se inferir que a necessidade de integração de todas as etapas da pirâmide de automação, gera a demanda de ferramentas que tenham a capacidade de suportar a comunicação entre os sistemas, que reconheça as interfaces e os formatos dados compartilhados (WEYER et al., 2015;

WITTENBERG, 2016), diminuindo desperdício de tempo e de informações pela robustez dos equipamentos utilizados.

O nível de benefícios esperados com a utilização de dispositivos com tecnologias conhecidas, é minimizado ou prejudicado pela existência de barreiras relacionadas à defasagem tecnológica e pela falta de infraestrutura. Estas influências são muito perceptíveis, uma vez que a infraestrutura de comunicação (velocidade da internet e a qualidade da banda larga), assim como a defasagem tecnológica no parque fabril da indústria brasileira, dificultam a utilização de dispositivos de alta tecnologia como os *smartphones* ou *google glasses* (KOLBERG; KNOBLOCH; ZÜHLKE, 2017; WITTENBERG, 2016), que dependem de banda larga e da possibilidade de conexão com os equipamentos do chão de fábrica para interagirem e para transmitir suas informações (CARDOSO et al., 2017; SMIT et al., 2016; THEORIN et al., 2015).

### 3.6. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivos, avaliar o nível de implementação das tecnologias da indústria 4.0, seus fatores motivadores e inibidores, de acordo com a visão de profissionais atuantes na indústria brasileira, bem como as influências entre o nível de aplicação das referidas tecnologias e os fatores. Por meio da análise bibliográfica, foi possível verificar a aplicação ampla das tecnologias da indústria 4.0 na área de manufatura, através de exemplos de utilização destas tecnologias, foi possível também, verificar a comprovação dos fatores motivadores e barreiras. Os resultados levantados por meio de uma pesquisa exploratória, possibilitaram confirmar a importância dos fatores motivadores e inibidores, além de verificar que o nível de implementação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0 ainda é muito baixo no Brasil. Esta conclusão é possível uma vez que, apesar de uma pequena amostra (71 respostas), as tecnologias que apresentaram o maior nível de implementação tiveram uma média de 2,4 pontos em uma escala de 0 a 5. Por meio de análises estatísticas foi possível determinar a influência que o nível de implementação das tecnologias e a existência de determinadas barreiras podem ter nos fatores motivadores, seja de forma positiva, potencializando os benefícios percebidos ou de forma negativa, minimizando a sua percepção.

Os resultados obtidos mostram que o nível de implementação das tecnologias da indústria 4.0 podem ter uma influência principalmente no fator motivador relacionado redução do consumo de energia. Com respeito à influência das barreiras em relação aos fatores motivadores ficou evidente que a barreira que tem maior nível de influência nos fatores motivadores, é a



falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão, o que tem muito sentido no caso prático, uma vez que trata-se de um assunto relativamente novo e baseado na inovação tecnológica, as empresas não têm muitos resultados práticos demonstrados, baseados na aplicação das tecnologias. Como delimitações, pode-se considerar o tamanho da amostra, onde obtiveram-se somente 71 respostas dentre 150 questionários enviados, entretanto, por se tratar de um estudo exploratório e pelo fato mencionado anteriormente do nível de implantação das tecnologias da indústria 4.0 no Brasil ainda ser muito baixo, os resultados obtidos são considerados relevantes para retratar o contexto considerado. Como sugestões para estudos futuros e continuidade da pesquisa, sugere-se uma amostra mais abrangente, incluindo fornecedores de serviços, implementadores e consumidores finais, podendo-se verificar as influências das características do perfil dos respondentes com os resultados apresentados, através de uma análise multivariada além de análises estatísticas mais sofisticadas, correlacionando o nível de aplicação das tecnologias com os fatores motivadores e barreiras.

As contribuições do presente estudo, no campo teórico, são a confirmação de fatores motivadores e barreiras, através da literatura e a priorização de sua importância por meio da opinião de profissionais atuantes e que têm contato com a indústria 4.0, podendo ser utilizados como base para aprofundamento em pesquisas acadêmicas. Algumas aplicações práticas dos resultados deste artigo podem ser: a utilização do conhecimento dos fatores motivadores e barreiras para potencializar ganhos e minimizar riscos, a partir de uma análise *SWOT* (*Strengths, Weakness, Opportunities, Threats*) (HELMS; NIXON, 2010; LEIGH, 2010) e aplicação no plano estratégico da empresa, além da utilização prática dos resultados de influência do nível de aplicação das tecnologias e das barreiras nos seus fatores motivadores, como forma de se beneficiar dos fatores motivadores, mitigar o impacto das barreiras e alavancar a implementação das tecnologias da indústria 4.0.

### 3.7. REFERÊNCIAS

- AHMED, Shamsuddin; AMAGOH, Francis. Application of QFD in product development of a glass manufacturing company in Kazakhstan. **Benchmarking: An International Journal**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 195–213, 2010. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/14635771011036302>>
- AN, Yoonjung; LEE, Sungjoo; PARK, Yongtae. Development of an integrated product-service roadmap with QFD: A case study on mobile communications. **International Journal of Service Industry Management**, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 621–638, 2008.
- BABICEANU, Radu F.; SEKER, Remzi. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 81, p. 128–137, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>>
- BARTODZIEJ, Christoph Jan. **The Concept Industry 4.0**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-16502-4>>
- BAUMERS, Martin et al. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 102, p. 193–201, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162515000530>>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- BERNARDI, S. A. R.; ANDR, Paulo; REIS, Souto Mayor. PERIMETER SECURITY FOR MACHINERY AND EQUIPMENT – NR-12. [s. l.], n. 12, p. 1–21, 2014.
- BRAGANÇA, Janio et al. Requisitos de manufatura automotiva pesada no contexto da indústria 4.0. [s. l.], 2017.
- BRETTEL, Malte; KLEIN, Manuel; FRIEDERICHSEN, Niklas. The Relevance of Manufacturing Flexibility in the Context of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 41, p. 105–110, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.047>>
- CARDOSO, Wagner et al. Digital manufacturing, industry 4.0, cloud computing and thing internet: Brazilian contextualization and reality. **Independent Journal of Management & Production**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 459, 2017. Disponível em: <<http://www.ijmp.jor.br/index.php/ijmp/article/view/572>>
- DALENOGARE, Lucas Santos et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 204, n. July, p. 383–394, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>>
- EAIDGAH, Youness et al. Visual management, performance management and continuous improvement: A lean manufacturing approach. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 187–210, 2016.
- ESMAEILIAN, Behzad; BEHDAD, Sara; WANG, Ben. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 39, p. 79–100, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>>
- GANGULY, Joydeep; VOGEL, Gerrit. Process Analytical Technology (PAT) and Scalable Automation for Bioprocess Control and Monitoring – A Case Study. **Pharmaceutical Engineering**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 1–9, 2006.

- GAUB, Heinz. Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies. **Reinforced Plastics**, [s. l.], v. 60, n. 6, p. 401–404, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.repl.2015.09.004>>
- GERHARDT, Tatiana Engel;; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. [s.l: s.n.].
- GHOBAKHLOO, Morteza. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, [s. l.], v. 29, n. 6, 2018.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. [s.l: s.n.].
- GIVEHCHI, Omid; JASPERNEITE, Juergen. Industrial Automation Services as part of the Cloud : First experiences. **Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation - Komma, Magdeburg**, [s. l.], v. 5, n. 45.1, p. 130–141, 2013. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/c3e3/0b9d4d5f38a801134e0b9e71379738a59bc2.pdf>>
- GOMES, Jefferson de Oliveira et al. Desafios para indústria 4.0 no Brasil. **Confederação Nacional da Indústria**, Brasília, Brazil, n. INDUSTRIA 4.0, p. 34, 2016.
- HAIR, Joseph F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. [s.l: s.n.].
- HARNLY, Aaron et al. Automation of Summary Evaluation by the Pyramid Method. **Proceedings of RANLP2005**, [s. l.], p. ???, 2005.
- HELMS, Marilyn M.; NIXON, Judy. Exploring SWOT analysis – where are we now?: A review of academic research from the last decade. **Journal of Strategy and Management**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 215–251, 2010.
- HERTER, Johannes; OVTCHAROVA, Jivka. A Model based Visualization Framework for Cross Discipline Collaboration in Industry 4.0 Scenarios. In: **PROCEDIA CIRP 2016, Anais... : Elsevier B.V.**, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.069>>
- IEDI. Políticas Para O Desenvolvimento Da Indústria 4.0 No Brasil. [s. l.], 2018. Disponível em: <[http://www.iedi.org.br/media/site/artigos/20180710\\_politicas\\_para\\_o\\_desenvolvimento\\_da\\_industria\\_4\\_0\\_no\\_brasil.pdf](http://www.iedi.org.br/media/site/artigos/20180710_politicas_para_o_desenvolvimento_da_industria_4_0_no_brasil.pdf)>
- IMKAMP, Dietrich et al. Challenges and trends in manufacturing measurement technology – the “Industrie 4.0” concept. **tm - Technisches Messen**, [s. l.], v. 83, n. 7–8, p. 325–335, 2016. Disponível em: <<http://www.degruyter.com/view/j/teme.2016.83.issue-7-8/teme-2015-0081/teme-2015-0081.xml>>
- IVANOV, Dmitry et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 54, n. 2, 2016.
- KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, J; Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 WG**, [s. l.], n. April, p. 82, 2013.
- KANG, Hyoung Seok et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 111–128, 2016.

- KOLBERG, Dennis; KNOBLOCH, Joshua; ZÜHLKE, Detlef. Towards a lean automation interface for workstations. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 55, n. 10, p. 2845–2856, 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2016.1223384>>
- KOLBERG, Dennis; ZÜHLKE, Detlef. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 1870–1875, 2015.
- KOREN, Yoram. The Global Manufacturing Revolution: Product Process Business Integration and Reconfigurable Systems. [s. l.], v. 4, p. 424, 2010.
- LEE, Jay et al. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manufacturing Letters**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 38–41, 2013.
- LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung An. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, [s. l.], v. 3, p. 18–23, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>>
- LEIGH, Doug. SWOT Analysis. In: **Handbook of Improving Performance in the Workplace**. [s.l.] : John Wiley and Sons, 2010. v. 2p. 115–140.
- LIAO, Yongxin et al. Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 7543, n. March, p. 0–21, 2016.
- MASONI, Riccardo et al. Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 11, 2017.
- NIXON, Mark. A Comparison of WirelessHART™ and ISA100. 11a. **white paper, July**, [s. l.], p. 1–36, 2012. Disponível em: <<http://www.controlglobal.com/12WPpdf/120904-emerson-wirelesshart-isa.pdf>>
- PAELKE, Volker. Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment. In: 19TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION, ETFA 2014 2014, **Anais...** [s.l: s.n.]
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. **Procedia CIRP**, [s. l.], 2016. a.
- QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. In: **PROCEDIA CIRP 2016b, Anais...** [s.l: s.n.]
- ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. A Complex View of Industry 4.0. **SAGE Open**, [s. l.], v. 6, n. 2, 2016.
- ROSENFELD, Yehiel. Cost of quality versus cost of non-quality in construction: The crucial balance. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 107–117, 2009.
- SANDERS, Adam; ELANGESWARAN, Chola; WULFSBERG, Jens. Industry 4 . 0 Implies Lean Manufacturing : Research Activities in Industry 4 . 0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. [s. l.], v. 9, n. 3, p. 811–833, 2016.
- SCHUH, Günther et al. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 19, n. C, p. 51–56, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016>>

- SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, [s. l.], v. 2015–Janua, p. 697–701, 2014.
- SMIT, William (DBSC Consulting) et al. Industrial Internet of Things. [s. l.], p. 23, 2016. Disponível em: <<https://insights.abnamro.nl/2016/02/industrial-internet-of-things/>>
- SUAREZ, Eva; CALVO-MORA, Arturo; ROLD??N, Jos?? Luis. The role of strategic planning in excellence management systems. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 248, n. 2, p. 532–542, 2016.
- THEORIN, Alfred et al. An event-driven manufacturing information system architecture. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 547–554, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1201604>>
- TUOMINEN, Valtteri. The measurement-aided welding cell - giving sight to the blind. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 86, n. 1–4, p. 371–386, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-8193-9>>
- UHLEMANN, Thomas H. J.; LEHMANN, Christian; STEINHILPER, Rolf. The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 61, p. 335–340, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>>
- WAEYENBERGH, Geert; PINTELON, Liliane. A framework for maintenance concept development. **International journal of production economics**, [s. l.], v. 77, n. 3, p. 299–313, 2002.
- WAGNER, Tobias; HERRMANN, Christoph; THIEDE, Sebastian. Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 63, p. 125–131, 2017.
- WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 37, n. April 2016, p. 517–527, 2015. a.
- WANG, Lihui; TÖRNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current Status and Advancement of Cyber - Physical Systems in Manufacturing. **Proceedings of the North American Manufacturing Research**, [s. l.], v. XXX, p. 1–18, 2015. b.
- WANG, Shiyong et al. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, [s. l.], v. 2016, 2016.
- WELLER, Christian; KLEER, Robin; PILLER, Frank T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 164, p. 43–56, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.020>>
- WEYER, Stephan et al. Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. In: IFAC-PAPERSONLINE 2015, **Anais...** [s.l: s.n.]
- WITTENBERG, Carsten. Human-CPS Interaction - requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 49, n. 19, p. 420–425, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.602>>

XU, Xun. **Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing***International Journal of Advanced Manufacturing Technology*The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, , 2017.

ZHONG, Ray Y. et al. RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 283–292, 2013.

## **APÊNDICE A – Questionário aplicado no primeiro Artigo**

O questionário aplicado no artigo 1 apresentou 2 seções, conforme descrito a seguir:

### Seção 1- Perfil dos respondentes

- 1- Nome
- 2- E-mail
- 3- Empresa

Seção 2 – Nível de importância dos requisitos de manufatura, em uma escala de 1 a 5, sendo 5 o mais importante.

- 1- Agilidade (responder rapidamente à necessidades de mudança)
- 2- Baixo índice de rejeição / Retrabalho
- 3- Controle de características críticas
- 4- Controle de qualidade em todas as etapas do processo
- 5- Disponibilidade da informação em tempo real
- 6- Facilidade de operação/utilização de equipamentos e ferramentas
- 7- Gestão visual
- 8- Layout flexível
- 9- Manutenção de primeiro nível (realizada pelo operador)
- 10- Manutenção preventiva e preditiva
- 11- Melhoria contínua
- 12- Produtividade
- 13- Rastreabilidade do processo
- 14- Rastreabilidade do produto
- 15- Redução de desperdícios
- 16- Redução de estoques
- 17- Segurança de dados
- 18- Segurança e ergonomia no ambiente de trabalho
- 19- Setups rápidos
- 20- Sistemas à prova de erro (pokayoke)

## APÊNDICE B – Questionário aplicado no segundo Artigo

O questionário aplicado no artigo 2 apresentou 4 seções, conforme descrito a seguir:

Seção 1- Perfil dos respondentes e segmento de atuação.

- 4- Nome
- 5- Empresa
- 6- E-mail
- 7- Segmento de atuação (Metalmeccânico; eletroeletrônico; alimentício; serviços; couro calçadista; automotivo; químico; têxteis, agrobusiness; outros)
- 8- Tempo de experiência (0 a 5anos; 5 a 10anos; 10 a 15anos; 15 a 20 anos; 20 a 25 anos; acima de 25 anos)
- 9- Posição (Nível técnico; engenheiro/analista; supervisor/especialista; gerência; diretoria)

Seção 2 – Nível de implementação das tecnologias da indústria 4.0 na sua empresa, sendo uma escala de 1 a 5, onde 1 é não implementada e 5 é completamente implementada.

- 21- Sistemas Cyber Físicos – CPS (Cyber Physical Systems)
- 22- IOT – Internet das coisas
- 23- M2M – Comunicação entre máquinas
- 24- Análise de Big data
- 25- Computação em Nuvem
- 26- Inteligência Artificial
- 27- Manufatura Aditiva
- 28- Realidade Aumentada
- 29- Virtualização
- 30- Identificação por Rádio Frequência - RFID
- 31- Robôs Autônomos

Seção 3 – Fatores motivadores para a implementação da Indústria 4.0. Definir o grau de relevância em uma escala de 1 a 5, sendo 1 para sem relevância e 5 para totalmente relevante.

- 1- Aumento de produtividade
- 2- Flexibilização para customização em massa
- 3- Significativos aumentos da qualidade do produto
- 4- Melhoria nas condições de trabalho
- 5- Redução do consumo de energia
- 6- Redução de desperdícios
- 7- Aumento da eficiência na gestão
- 8- Aumento do valor agregado a partir de *smart products*
- 9- Surgimento de competências – Mão-de-obra mais qualificada
- 10- Redução de custos e prazos
- 11- Redução do ciclo de desenvolvimento de produtos
- 12- Ganho de competitividade pela customização de produtos
- 13- Utilização de dispositivos com tecnologias conhecidas



Seção 4 – Fatores inibidores (Barreiras) para a implementação da Indústria 4.0. Definir o grau de relevância em uma escala de 1 a 5, sendo 1 para sem relevância e 5 para totalmente relevante.

- 1- Falta de capital de investimentos
- 2- Custos relacionados à tecnologia e retorno incerto dos investimentos
- 3- Dificuldade de padronização da comunicação em toda a cadeia
- 4- Capacitação Técnica
- 5- Questões culturais
- 6- Falta de conhecimentos práticos para tomada de decisão
- 7- Defasagem tecnológica
- 8- Riscos aos direitos de propriedade intelectual
- 9- Vulnerabilidade de dados expostos na nuvem
- 10- Legislação brasileira (NR12)
- 11- Falta de infraestrutura (velocidade da internet e qualidade da telefonia móvel)

## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta seção tem por objetivo discutir a proposta desta dissertação, sintetizar e esclarecer as principais contribuições práticas e acadêmicas, bem como apresentar oportunidades de trabalhos futuros a partir dos resultados apresentados.

### **4.1. Discussão final sobre a proposta de dissertação**

A indústria 4.0 já não é mais uma perspectiva, é um fato. Trata-se de um caminho sem volta, sua implementação vai definir a sobrevivência das empresas em um mercado muito competitivo, onde os clientes e consumidores terão uma participação cada vez maior através da conectividade. Enquanto que em países desenvolvidos o assunto já vem sendo discutido desde 2011, com uma série de iniciativas por parte do governo, academia e comunidade industrial, no sentido de acompanhar a quarta revolução industrial, como por exemplo na Europa, mais especificamente na Alemanha (KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, 2013), nos Estados Unidos (HOLDREN et al., 2011) e na China (LIAO et al., 2016; ZHANG; PIKAS; LEE, 2016). No Brasil, este tema ainda se apresenta de forma bastante incipiente, pois foi somente em 2016 quando foi realizado o primeiro estudo (MDIC, 2016), cujos planos de ação ainda não foram elaborados e, como pode-se perceber pelos resultados do presente trabalho, o reflexo no nível de implementação e de conhecimento das tecnologias ainda é muito escasso.

Diante do cenário apresentado, este trabalho foi desenvolvido com objetivo de identificar as principais tecnologias da indústria 4.0 que atendam aos requisitos mais importantes da manufatura, buscando avaliar o nível de implementação destas tecnologias, além das barreiras e motivadores para sua implementação, considerando-se a experiência e vivência de profissionais atuantes na indústria brasileira. Desta forma, foram desenvolvidos dois artigos acadêmicos, onde o primeiro tratou de esclarecer as principais tecnologias aplicadas à indústria 4.0, bem como os principais requisitos de manufatura e como estes se relacionam. De forma complementar, o segundo artigo, aprofundou a aplicação das tecnologias na manufatura discutidas no primeiro artigo e levantou a importância dos fatores motivadores e barreiras analisando a relação entre o nível de implementação das tecnologias e esses fatores.

De forma geral, pode-se concluir a partir dos resultados obtidos que os requisitos mais importantes, conforme levantado em pesquisa com profissionais, são aqueles ligados à produtividade e à qualidade do produto. As tecnologias da indústria 4.0 contribuem para atender

os requisitos de manufatura automotiva, mas é possível priorizar a sua implementação, conforme necessidade e disponibilidade para investimentos, uma vez que algumas tecnologias como Sistemas ciberfísicos, internet das coisas e análise de big data, são mais facilmente implementadas e podem servir de plataforma para as demais, sendo possível criar um *roadmap* de implementação das tecnologias. Pode-se verificar também a possibilidade de ampla aplicação das tecnologias da indústria 4.0, embora, conforme o resultado da pesquisa aplicada no segundo artigo, o nível de implementação no Brasil ainda é bem baixo. As análises estatísticas serviram para demonstrar que o nível de implementação das tecnologias da indústria 4.0, bem como a existência de algumas barreiras podem influenciar nos fatores motivadores. O fato de o assunto ser relativamente novo ficou evidente uma vez que a barreira que apresentou maior influência nos fatores motivadores foi justamente aquela relacionada à falta de resultados práticos para a tomada de decisões.

#### **4.2. Contribuições acadêmicas**

O primeiro artigo procurou reunir dados sobre os requisitos de manufatura e relaciona-los com as tecnologias da indústria 4.0, trazendo uma contribuição importante, pois até o momento da sua publicação, a literatura sobre a aplicação direta das tecnologias da indústria 4.0 na manufatura automotiva era muito escassa, uma revisão bibliográfica sistemática sobre o tema (LIAO et al., 2016) mostra que, dentre 224 artigos pesquisados, somente dois traziam aplicações diretas na manufatura automotiva. Além disso, este artigo aborda os requisitos de manufatura, relacionando-os com as tecnologias da indústria 4.0, por meio da aplicação de uma abordagem adaptada do QFD (AKAO, 1990; PRASAD, 1998), trazendo uma nova forma de priorização que pode ser aplicada em outros estudos. Com relação ao segundo artigo, este mostra de forma mais aprofundada e justificada através de pesquisa bibliográfica, a aplicação das tecnologias relacionadas no primeiro artigo, seja individualmente ou integradas entre si, reunindo em um documento informações importantes sobre a aplicação prática das tecnologias, mostrando exemplos e resultados destas aplicações, além de discutir os fatores motivadores e as barreiras relacionadas à indústria 4.0, de forma a fundamentar através da literatura disponível, a existência destes fatores. Ambos os artigos trazem contribuições teóricas para o estado da arte sobre as tecnologias da indústria 4.0

### **4.3. Contribuições Práticas**

A proposta do primeiro artigo, de levantar a importância dos requisitos de manufatura, por meio de uma consulta com profissionais atuantes na indústria, relacionar estes requisitos às tecnologias da indústria 4.0 e sua priorização, constitui uma ferramenta que pode ser utilizada para definir quais tecnologias são mais importantes e melhor atendem os requisitos e devem ser implementadas de forma prioritária para atender às demandas do setor de manufatura na indústria automotiva pesada, podendo ser adaptado a outros segmentos, conforme contexto, criando-se assim um *roadmap* de implantação da indústria 4.0, tornando este estudo um guia que pode auxiliar na tomada de decisão em projetos de manufatura. No segundo artigo, além de discutir a aplicação prática das tecnologias, que pode ajudar na compreensão de sua utilização nos processos industriais, foram levantados pontos relevantes do ponto de vista dos profissionais da indústria, corroborados pela literatura, a respeito dos fatores motivadores e barreiras. Os resultados das análises estatísticas poderão ajudar os gestores na tomada de decisões para mitigação das barreiras e potencialização dos benefícios esperados pela implementação das tecnologias relacionadas à indústria 4.0.

### **4.4. Sugestões para estudos futuros**

Os resultados gerados nesta dissertação podem ser aprofundados com estudos futuros e continuidade da pesquisa, trabalhando-se com um universo mais abrangente, no caso do primeiro artigo, uma vez que este limitou-se à manufatura automotiva. Pode-se ainda, aplicar a ferramenta QFD em outros estudos de caso. Além disso, é importante aprofundar estudos no que diz respeito aos custos e dificuldades de implementação da Indústria 4.0,

Com respeito ao nível de aplicação das tecnologias, seus fatores motivadores e barreiras, sugere-se uma amostra mais abrangente, incluindo fornecedores de serviços, implementadores e consumidores finais como fontes de conhecimento, podendo-se verificar as influências das características do perfil dos respondentes com os resultados apresentados, através de uma análise multivariada além de análises estatísticas mais sofisticadas, correlacionando o nível de aplicação das tecnologias com os fatores motivadores e barreiras. Pode-se ainda, avaliar o nível de implementação e sua correlação com os fatores motivadores e barreiras, de forma estratificada, por segmento industrial.

#### 4.5. Referências

AKAO, Yoji. **QFD: Quality Function Deployment - Integrating Customer Requirements into Product Design**. [s.l.: s.n.].

HOLDREN, John P. et al. Report To the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing. **PCAST: President's Council of Advisors on Science and Technology**, [s. l.], p. 0–56, 2011. Disponível em:  
<<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>>

KAGERMANN, H; WAHLSTER, W; HELBIG, J; Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 WG**, [s. l.], n. April, p. 82, 2013.

LIAO, Yongxin et al. Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 7543, n. March, p. 0–21, 2016.

MDIC. Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil. **MDIC**, [s. l.], 2016.

PRASAD, Biren. Review of QFD and related deployment techniques. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 221–234, 1998.

ZHANG, Xianhui; PIKAS, Bohdan; LEE, Tenpao. The Transformation and upgrading of the Chinese manufacturing industry: Based on “German Industry 4.0”. **Journal of Applied Business and Economics**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 97–105, 2016. Disponível em:  
<<http://search.proquest.com/uplib.idm.oclc.org/abicomplete/docview/1855298156/fulltextPDF/BBAC2F7AFC2B4AC9PQ/2?accountid=14717>>