CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ANDERSON JOSÉ CORREA

# INTERAÇÕES ENTRE INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING: ESTUDO DE CASO EM EMPRESAS

São Bernardo do Campo
2020

ANDERSON JOSÉ CORREA

# INTERAÇÕES ENTRE INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING: ESTUDO DE CASO EM EMPRESAS

Dissertação apresentada ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Orientado pela Professora Doutora Ana Paula Vilas Boas Viveiros Lopes.

São Bernardo do Campo

2020

Correa, Anderson José.
Interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing: estudo de múltiplos casos / Anderson José Correa. São Bernardo do Campo - SP, 2020.
115 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.
Orientadora: Prof.ª Dra. Ana Paula Vilas Boas Viveiros Lopes.

1. indústria 4.0. 2. manufatura enxuta. 3. lean manufacturing. 4. lean. I. Lopes, Ana Paula Vilas Boas Viveiros, orient. II. Título.

centro universitário FEI

# APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
# ATA DA BANCA EXAMINADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Mecânica

Mestrado

PGM-10

**Aluno:** Anderson José Corrêa **Matrícula:** 218101-4

**Título do Trabalho:** Interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing: estudo de caso em empresas.

**Área de Concentração:** Produção

**Orientador:** Profª Drª Ana Paula Vilas Boas Viveiros Lopes

**Data da realização da defesa:** 26/11/2020

**ORIGINAL ASSINADA**

**Avaliação da Banca Examinadora:**

**A banca decidiu que o aluno deve desdobrar o objetivo geral para um melhor alinhamento com a pesquisa de campo; deve esclarecer melhor na metodologia de pesquisa como chegou no protocolo de pesquisa e nomear corretamente o primeiro estudo de caso (sem fazer menção à um estudo de caso piloto); deve reescrever o capítulo da conclusão, reforçando os pontos fortes do trabalho.**

São Bernardo do Campo, / / .

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA**

Profª Drª Ana Paula Vilas Boas Viveiros Lopes Ass.: _____

Prof. Dr. Dário Henrique Alliprandini Ass.: _____

Profª Drª Sandra Bergamini Leonardo Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

**VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO**

**APROVO A VERSÃO FINAL DA DESSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUIDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA**

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco

A Deus, Nossa Senhora da Aparecida, Daniela
e Sophia, minha família e aos meus amigos

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e Nossa Senhora da Aparecida por terem me dado saúde, força e fé durante a elaboração deste trabalho e da realização do curso.

De forma especial, agradeço à minha esposa Daniela e minha filha Sophia pela compreensão e paciência e a meus pais, demais familiares e amigos pelo incentivo, apoio e concessões. Agradeço também ao meu primo de codinome Juanico e sua família, que sempre inspiraram e apoiaram a minha vida profissional e que me motivaram a conhecer as palavras engenharia e indústria 4.0 que tanto tiveram e impacto em toda a minha vida.

Agradeço ao Professor Doutor Dario Henrique Alliprandini, que incentivou e apoiou o desenvolvimento do tema em seu início, mesmo que inovador e ousado para o momento. Agradeço à Professora Doutora Ana Paula Vilas Boas Viveiros Lopes, orientadora deste trabalho, que motivou, apoiou de forma incondicional e se comprometeu com contribuição de alta qualidade.

Também agradeço à minha colega de curso Juliana Aparecida Gomes, por tanto me ajudar e incentivar quanto ao desenvolvimento deste trabalho.

E, por fim, agradeço às pessoas, empresas e ao Centro Universitário FEI que estiveram presentes nesta etapa da minha vida, que colaboraram com o meu crescimento profissional e pessoal e que de forma direta ou indireta contribuíram com o desenvolvimento do conhecimento acadêmico no Brasil.

Se o dinheiro for a esperança de independência, jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.

Henry Ford

# RESUMO

A indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial consiste na interação entre sistemas e máquinas inteligentes por meio da interação de tecnologias habilitadoras nos âmbitos físico, digital e biológico, cujo impacto disruptivo de alta velocidade afeta negócios, hábitos de consumo e estilos de vida. Lean manufacturing é o termo que descreve o Sistema Toyota de Produção, com foco em pessoas, melhoria contínua e em redução de desperdícios, cujo objetivo é a redução de custos através da implementação de princípios que caracterizam modelo e regras de gestão próprios, inicialmente implementado na indústria e atualmente com ampla aplicação. A junção de indústria 4.0 com lean manufacturing ainda não é plenamente esclarecida, tomando como base que os habilitadores de indústria 4.0 são implementadas em um sistema produtivo predominantemente de lean manufacturing. Foi constatada na literatura a relevância da junção dos temas indústria 4.0 e lean manufacturing, com salto de publicações nos últimos anos e número significativo de citações face à atenção predominante por países com economias expressivas, porém com carência de contribuições conclusivas. Assim, com base na análise de dados obtidos por meio do método de pesquisa estudo de caso, foi possível constatar que há contribuições entre indútria 4.0 e lean manufacturing e vice-versa, que desafios lean manufacturing e respectivas soluções de indústria 4.0 identificados na literatura são aderentes aos estudos de caso e que indústria 4.0 e lean manufacturing impactam positivamente nos direcionadores de valor das empresas estudadas.



Palavras-chave: indústria 4.0, manufatura enxuta, quarta revolução industrial, sistema Toyota de produção

**ABSTRACT**

The Industry 4.0 or Fourth Industrial Revolution consists of the interaction between systems and intelligent machines through the integration of enabling technologies in the physical, digital and biological scopes, whose high-speed disruptive impact affects business, consumer habits and lifestyles. Lean manufacturing is the term that describes the Toyota Production System, with a focus on people, continuous improvement and waste reduction which objective is to reduce costs through the implementation of principles that characterize its own management model and rules, initially implemented in the industry and currently with wide application. The combination of Industry 4.0 with lean manufacturing is not yet fully understood, based on the fact that the enabling technologies of Industry 4.0 are implemented in predominantly lean production system. The relevance of the combination of Industry 4.0 and lean manufacturing was found in the literature, with a peak in publications in recent years and a significant number of citations with predominantly attention by countries with expressive economy, but with a lack of conclusive contributions. Thus, based on the data analysis obtained through the case study research method, it was possible to verify that there are contributions between industry 4.0 and lean manufacturing and vice versa, that lean manufacturing challenges and respective industry 4.0 solutions identified in the literature are adherent to the case studies and that industry 4.0 and lean manufacturing positively impact the value drivers of the companies studied.

Keywords: industry 4.0, lean manufacturing, lean, fourth industrial revolution, Toyota production system

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - As quatro revoluções industriais ..... 16
Quadro 1 - Tecnologias habilitadoras ou habilitadores para a indústria 4.0 ..... 19
Figura 2 - Habilitadores de indústria 4.0 ..... 27
Figura 3 - Princípios do lean manufacturing ..... 29
Figura 4 - Pirâmide 4Ps da cultura Toyota ..... 30
Figura 5 - Conceito: indústria 4.0, lean manufacturing, desempenho e ambiente ..... 36
Quadro 2 - Matriz de impacto de indústria 4.0 em lean manufacturing ..... 37
Figura 6 - Interdependências de lean manufacturing e indústria 4.0 ..... 38
Figura 7 - Interdependências de lean manufacturing e indústria 4.0 (conclusão) ..... 38
Figura 8 - Dimensões lean manufacturing agrupadas por fatores ..... 39
Quadro 3 - Associação de dimensões lean manufacturing e habilitadores ..... 40
Quadro 4 - Dimensões lean manufacturing, desafios e soluções ..... 40
Quadro 5 - Manufatura de hoje e manufatura indústria 4.0 ..... 41
Figura 9 - Publicações por ano ..... 45
Quadro 6 - Publicações por periódico e ano ..... 46
Quadro 7 - Artigos mais citados ..... 47
Figura 10 - Evolução das citações (10 artigos mais citados) ..... 48
Figura 11 - Publicações em coautoria (países) ..... 49
Figura 12 - Rede de citações (organizações) ..... 50
Figura 13 - Rede de citações (países) ..... 51
Figura 14 - Rede de ocorrência de palavras-chave ..... 52
Figura 15 - Rede de citações (artigos) ..... 52
Quadro 8 - Etapas do desenvolvimento do estudo de caso ..... 54
Quadro 9 - Nível de implementação de lean manufacturing nas empresas ..... 56
Quadro 10 - Nível de implementação de indústria 4.0 nas empresas ..... 57
Quadro 11 - Fatores de pesquisa e referências ..... 60
Quadro 12 - Classificação de ocorrências ..... 55
Quadro 13 - Perfil das empresas, representantes e coleta de dados ..... 61
Quadro 14 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (RET) ..... 63
Quadro 15 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (RET) ..... 64
Quadro 16 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (RET) ..... 66
Quadro 17 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (RET) ..... 67

Quadro 18 - Direcionadores de valor (RET) ..... 68
Quadro 19 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (AUT) ..... 70
Quadro 20 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (AUT) ..... 71
Quadro 21 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (AUT) ..... 72
Quadro 22 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (AUT) ..... 73
Quadro 23 - Direcionadores de valor (AUT) ..... 74
Quadro 24 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (EMB) ..... 76
Quadro 25 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (EMB) ..... 77
Quadro 26 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (EMB) ..... 79
Quadro 27 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (EMB) ..... 80
Quadro 28 - Direcionadores de valor (EMB) ..... 80
Quadro 29 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (CO) ..... 83
Quadro 30 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (CO) ..... 85
Quadro 31 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (CO) ..... 86
Quadro 32 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (CO) ..... 87
Quadro 33 - Direcionadores de valor (CO) ..... 88
Quadro 34 - Análise cruzada: contribuição indústria 4.0 em lean ..... 91
Quadro 35 - Análise cruzada detalhada: contribuição indústria 4.0 em lean ..... 91
Quadro 36 - Análise cruzada: contribuição lean em indústria 4.0 ..... 93
Quadro 37 - Análise cruzada detalhada: contribuição lean em indústria 4.0 ..... 93
Quadro 38 - Análise cruzada: desafios lean e soluções indústria 4.0 ..... 95
Quadro 39 - Análise cruzada detalhada: desafios lean e soluções indústria 4.0 ..... 96
Quadro 40 - Análise cruzada: direcionadores de valor ..... 97
Quadro 41 - Análise cruzada detalhada: direcionadores de valor ..... 97
Quadro 42 - Análise cruzada: barreiras ..... 98
Quadro 43 - Análise cruzada: motivações ..... 99
Quadro 44 - Análise cruzada: stakeholder ..... 100
Quadro 45 - Sintetização de constatações ..... 101

## LISTA DE SIGLAS

| | |
|---|---|
| **4P** | Philosophy, Process, People and Partners, Problem |
| **5S** | Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke |
| **ABDI** | Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial |
| **AGV** | Automated Guided Vehicle |
| **CNI** | Confederação Nacional da Indústria |
| **CPS** | Cyber Physical System |
| **GPS** | Global Positioning System |
| **IoT** | Internet of Things |
| **JIT** | Just in Time |
| **MDIC** | Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços |
| **STP** | Sistema Toyota de Produção |
| **WEF** | World Economic Forum |

SUMÁRIO

**1 INTRODUÇÃO ..... 11**

1.1 OBJETIVO GERAL ..... 14

**1.1.1 Objetivos específicos ..... 14**

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO ..... 15

**2 REVISÃO DE LITERATURA ..... 15**

2.1 INDÚSTRIA 4.0 ..... 15

**2.1.1 A indústria 4.0 no mundo e no Brasil ..... 17**

**2.1.2 Tecnologias Habilitadoras ..... 18**

***2.1.2.1 Cloud ..... 19***

***2.1.2.2 Internet of Things (IoT) ..... 20***

***2.1.2.3 Big Data ..... 21***

***2.1.2.4 Cyber Physical Systems (CPS) Ou Sistemas Físicos Cibernéticos ..... 21***

***2.1.2.5 Manufatura Aditiva ..... 22***

***2.1.2.6 Simulação ..... 22***

***2.1.2.7 Robotização ..... 23***

***2.1.2.8 Inteligência artificial ..... 24***

***2.1.2.9 Tecnologias digitais: digitalização, virtualização, realidade aumentada e realidade virtual ..... 25***

*2.1.2.9.1 Digitalização ..... 25*

*2.1.2.9.2 Virtualização ..... 25*

*2.1.2.9.3 Realidade aumentada ..... 26*

*2.1.2.9.4 Realidade virtual ..... 26*

2.2 LEAN MANUFACTURING ..... 27

**2.2.1 Princípios do lean manufacturing ..... 28**

**2.2.1.1 Filosofia do Modelo ou cultura Toyota 4P ..... *29***

**2.2.1.2 Gerenciamento visual ..... *30***

**2.2.1.3 Processos estáveis e padronizados ..... *31***

**2.2.1.4 Produção nivelada ou heijunka** ..... *31*

***2.2.1.5 Just in Time (JIT)*** ..... *32*

***2.2.1.6 Autonomação ou jidoka*** ..... *32*

***2.2.1.7 Pessoas e equipe de trabalho*** ..... *32*

***2.2.1.8 Redução das perdas ou redução de desperdícios*** ..... *33*

***2.2.1.9 Melhoria contínua ou kaizen*** ..... *34*

2.3 INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING ..... 34

**2.3.1 Interação entre indústria 4.0 e lean manufacturing** ..... **36**

***2.3.1.1 Relacionamentos entre indústria 4.0, lean, desempenho e ambiente*** ..... *36*

***2.3.1.2 Impacto de indústria 4.0 em lean manufacturing*** ..... *37*

***2.3.1.3 Interdependências de lean manufacturing* e tecnologias de indústria 4.0** ..... *37*

***2.3.1.4 Dimensões lean manufacturing, fatores, desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0*** ..... *39*

**2.3.2. Direcionadores de valor** ..... **41**

**2.3.3 Motivações e barreiras** ..... **41**

***2.3.3.1 Motivações*** ..... *42*

***2.3.3.2 Barreiras*** ..... *43*

**3 METODOLOGIA** ..... **44**

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA ..... 44

3.2 ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES ..... 44

3.3 ANÁLISE DAS CITAÇÕES ..... 46

3.4 PESQUISA DE CAMPO ..... 53

**3.4.1 Seleção dos estudos de casos** ..... **54**

**3.4.2 Análise dos dados** ..... **55**

***3.4.2.1 Recorte*** ..... *55*

**3.4.3 Avaliação de nível de implementação de lean manufacturing e indústria 4.0** ..... **56**

**3.4.4 Teste piloto** ..... **58**

**3.4.5 Realização dos estudos de caso exploratórios** ..... **58**

3.5 PROTOCOLO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS ..... 59
**4 APRESENTAÇÃO DOS CASOS ..... 61**
4.1 EMPRESA DE AUTOPEÇAS (RET) ..... 62
**4.1.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing ..... 62**
**4.1.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0 ..... 63**
**4.1.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 ..... 65**
**4.1.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing ..... 67**
**4.1.5 Motivações, barreiras e stakeholders ..... 68**
***4.1.5.1 Motivações ..... 68***
***4.1.5.2 Barreiras ..... 68***
***4.1.5.3 Stakeholders ..... 68***
4.2 EMPRESA AUTOMOTIVA (AUT) ..... 69
**4.2.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing ..... 69**
**4.2.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0 ..... 70**
**4.2.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 ..... 72**
**4.2.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing ..... 73**
**4.2.5 Motivações, barreiras e stakeholders ..... 74**
***4.2.5.1 Motivações ..... 74***
***4.2.5.2 Barreiras ..... 75***
***4.2.5.3 Stakeholders ..... 75***
4.3 EMPRESA DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS (EMB) ..... 75
**4.3.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing ..... 76**
**4.3.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0 ..... 77**
**4.3.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 ..... 78**
**4.3.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing ..... 80**
**4.3.5 Motivações, barreiras e stakeholders ..... 81**
***4.3.5.1 Motivações ..... 81***
***4.3.5.2 Barreiras ..... 81***

*4.3.5.3 Stakeholders* ..... *81*

4.4 EMPRESA AUTOMOTIVA PESADA (CO) ..... 82

**4.4.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing** ..... **82**

**4.4.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0** ..... **84**

**4.4.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0** ..... **86**

**4.4.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing** ..... **87**

**4.4.5 Motivações, barreiras e stakeholders** ..... **88**

*4.4.5.1 Motivações* ..... *88*

*4.4.5.2 Barreiras* ..... *88*

*4.4.5.3 Stakeholders* ..... *89*

**5 RESULTADOS E DISCUSSÕES** ..... **90**

5.1 ANÁLISE CRUZADA: CONTRIBUIÇÃO DE INDÚSTRIA 4.0 EM LEAN MANUFACTURING ..... 90

5.2 ANÁLISE CRUZADA: CONTRIBUIÇÃO DE LEAN MANUFACTURING EM INDÚSTRIA 4.0 ..... 92

5.3 ANÁLISE CRUZADA: DESAFIOS DE LEAN MANUFACTURING E SOLUÇÕES DE INDÚSTRIA 4.0 ..... 94

5.4 ANÁLISE CRUZADA: DIRECIONADORES DE VALOR PARA INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING ..... 96

5.5 ANÁLISE CRUZADA: MOTIVAÇÕES, BARREIRAS E STAKEHOLDER ..... 98

**5.5.1 Análise cruzada: barreiras** ..... ***98***

**5.5.3 Análise cruzada: motivações** ..... ***99***

**5.5.1 Análise cruzada: stakeholder** ..... ***100***

**6 CONCLUSÕES** ..... **103**

# 1 INTRODUÇÃO

É importante destacar o uso de tecnologias e sistemas inteligentes nas empresas em busca da melhoria de desempenho das operações antes do advento da indústria 4.0. Assim, Small e Yasin (1997) definem que a incorporação de tecnologias na manufatura é utilizada para o incremento dos resultados da operação e para impulsionar a competitividade, por meio de ferramentas como computer-aided design (CAD), computer-aided process planning (CAPP), computer numerical control (CNC), flexible manufacturing cell/system (FMC/FMS), computer-integrated manufacturing (CIM) também caracterizadas como advanced manufacturing technology (AMT). McDermott e Stock (1998) apresentam que Advanced manufacturing tecnology (AMT) pode ser definido como um sistema de produção automatizado com pessoas, máquinas e ferramentas utilizado no planejamento e controle de produção incluindo a compras de insumo, serviços e entregas.

Enterprise resource planning (ERP), é um termo utilizado para conjunto de atividades fornecido por meio de um software de múltiplos módulos para auxiliar na manufatura ou no setor de serviços, tendo como base o primeiro produto ERP criado pela SAP em 1972 (HUANG; PALVIA, 2001). Mia e Winata (2007) associam management accounting systems (MAS) às vantagens competitivas com produtos de qualidade, preços competitivos e responsividade, também o relaciona com o princípio de lean manufacturing descrito como JIT.

Desde meados dos anos 1990, Manufacturing Execution Systems (MES) evoluíram a ponto de fornecer um sistema comum como suporte à processos de manufatura desde a liberação de ordem de produção até entrega de produtos acabados (UGARTE; ARTIBA; PELLERIN, 2009). MES é a base para desempenho, qualidade e agilidade na manufatura globalizada, com a necessidade de uma nova geração para atender aos desafios proporcionados pela indústria 4.0 (ALMADA-LOBO, 2015). Lasi et al. (2014) relacionam os conceitos inovativos de MES/ERP à indústria 4.0.

Tomando como base o estágio de manufatura vigente, de acordo com Pfeiffer (2017) e Tortorella e Fettermann (2017), o termo indústria 4.0 foi introduzido em 2011 na Feira de Hannover na Alemanha como estratégia do governo alemão para o desenvolvimento em manufatura e se refere à uma indústria cujas características principais são máquinas conectadas, produtos e sistemas inteligentes adicionados à soluções inter-relacionadas. Muitos são os desafios, sendo o mais intenso e mais importante deles a modelagem da nova revolução

tecnológica chamada de indústria 4.0 ou quarta revolução industrial que culminou na transformação de toda a humanidade (SCHWAB, 2016).

Sob o ponto de vista de negócios, as tecnologias da indústria 4.0 afetam a competitividade e mercado em todas as atividades produtivas (CNI, 2019). Conceitos da indústria 4.0 são disseminados por meio de iniciativas governamentais em países como Alemanha, Estados China, França, Singapura, Japão e Reino Unido entre outros (DALENOGARE et al., 2018; LIAO et al., 2017). No Brasil, são encontradas avaliações como Industry 4.0: a new challenge for Brazilian industry (CNI, 2016), Inovação, manufatura avançada e o futuro da indústria (ABDI, 2017), Indústria 2027 - Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas (CNI, 2018) e ações como a criação da portaria no. 2.091-SEI pelo governo brasileiro que aprova critérios para pesquisa, desenvolvimento e inovação (MDICa, 2018) e lançamento no Fórum Econômico Mundial em São Paulo em março de 2019 do pacote de R$ 9,1 bilhões em incentivos, financiamento e isenção de impostos com ações concretas em andamento caracterizadas no mapeamento 4.0 (MDICd, 2019).

A indústria 4.0 tem como conceito a utilização de novas tecnologias também chamadas de tecnologias habilitadoras ou habilitadores (MOEUF et al., 2018; CHIARELLO et al., 2018). Foram identificadas na literatura nove tecnologias habilitadoras, a seguir: 1) Cloud ou nuvem; 2) IoT – Internet of Things ou Internet das Coisas; 3) Big data; 4) CPS - Cyber Physical Systems ou sistemas físicos cibernéticos; 5) Manufatura aditiva; 6) Simulação; 7) Robotização; 8) Inteligência Artificial e 9) Tecnologias Digitais formadas por Digitalização, Virtualização, Realidade aumentada, Realidade virtual.

Porém, as inovações da indústria 4.0 devem ser implementadas em uma indústria existente predominantemente com base lean manufacturing e cuja interface ainda não é plenamente reconhecida (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

Krafcik (1988) cunhou o termo lean manufacturing para descrever o Sistema Toyota de Produção. Para Ohno (1997), lean manufacturing é um sistema de produção puxada que retira somente as quantidades necessárias do sistema, tanto no final do processo como em etapas anteriores. E para Shah (2003), lean manufacturing aborda sistema Just in Time, equipes de trabalho, manufatura celular, gerenciamento de fornecedores entre outros, em um sistema integrado, simplificado e em sinergia que produz com alta qualidade no ritmo da demanda do cliente com pouco ou nenhum desperdício. Os princípios lean manufacturing são representados no formato de uma casa, com alicerce, sustentação e telhado, com destaque para pessoas e ênfase na melhoria contínua, Kaizen ou simplesmente redução de desperdícios (LIKER, 2005).

Para o que se refere à junção de indústria 4.0 com lean manufacturing, Rosin et al. (2019) argumentam ainda não haver consenso sobre a definição de Indústria 4.0, por outro lado identificam ligações entre Indústria 4.0 e princípios lean manufacturing na literatura. Vinodh et al. (2020) indicam a necessidade de consolidar indústria 4.0 com melhoria contínua para garantir benefícios significantes e fazem menção sobre benefícios como flexibilidade, performance e redução de custos.

Segundo Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), pesquisas e publicações no campo da indústria 4.0 têm respostas para superar barreiras de implementação do lean e que o comprometimento da indústria 4.0 com lean faz com que a fábrica seja enxuta além de ser inteligente. De acordo com Tortorella e Fettermann (2017), há evidências que o lean manufacturing seja positivamente associado às tecnologias de indústria 4.0 e que suas implementações simultâneas conduzem à otimização da performance. Lean manufacturing é a base para a indústria 4.0, para o qual informação, comunicação, tecnologias modernas e processos precisam ser definidos de maneira eficiente antes da automatização do processo de produção (DOMBROWSKI; RICHTER; KRENKEL, 2017).

Buer, Strandhagen e Chan, 2018 estabeleceram uma estrutura conceitual entre indústria 4.0, lean manufacturing, desempenho e ambiente. Wagner et al. (2017) relacionaram cada habilitador com cada princípio lean manufacturing, de acordo com critério de definição por eles estabelecidos tanto de habilitadores como de princípios e qualificando cada relacionamento, veja seção 2.3.1.2. O inverso fizeram Dombrowski, Richter e Krenkel (2017) em estabelecer o número de interdependências entre princípios lean manufacturing e habilitadores indústria 4.0 por eles estabelecidos, com tópico apresentado na seção 2.3.1.3. Desta forma, estas associações entre indústria 4.0 e lean manufacturing são também tidas como base para o desenvolvimento deste trabalho.

Fettermann (2018) et al. argumentam que é um desafio encontrar exemplos de casos de sucesso de implementação de indústria 4.0 e que não há dados disponíveis suficientes na literatura ou que carecem de complementações. Tortorella e Fettermann (2017) mencionam haver poucas evidências na literatura sobre a interdependência entre indústria 4.0 e lean manufacturing e que uma abordagem em empresas com coleta e análise de dados detalhadas é necessária para estabelecer uma perspectiva sobre o assunto problema. Por outro lado, Dombrowski, Richter e Krenkel (2017) analisaram 260 empresas alemãs, o que é passível de aplicação em outros países, e assim provaram que indústria 4.0 está associada à lean manufacturing. Desta forma, fica contextualizada a lacuna de pesquisa empírica de trabalhos sobre interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing no Brasil.

Por meio da realização deste trabalho, foi possível constatar empiricamente nos estudos de caso evidências sobre as contribuições entre indústria 4.0 e lean manufacturing e vice-versa, aderência com desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 encontrados na literatura e impacto causado por indústria 4.0 e lean manufacturing nos direcionadores de valor das empresas brasileiras estudadas, assim como barreiras e motivações.

Como motivações inicialmente associadas somente à indústria 4.0, encontra-se na literatura: melhoria da customização do produto; otimização de automação de processos; redução de custos operacionais; entre outros (DALENOGARE et al., 2018). E como barreira sob a mesma ótica, empresas hesitam em iniciar seus processo de transformação digital devido a incertezas quanto a benefícios financeiros e falta de conhecimento especializado (KÜSTERS; PRAß; GLOY, 2017).

É importante destacar que a introdução da indústria 4.0 não elimina o sistema de produção lean manufacturing, mas contribui com sua maturidade (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018) e que na implementação de indústria 4.0, as empresas devem integrar indústria 4.0 com lean manufacturing para a obtenção dos melhores benefícios de ambos (SONY, 2018). Por fim, Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) mencionam a relação entre indústria 4.0 e lean manufacturing como um importante segmento de pesquisa a ser explorado.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é estudar as interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing em empresas que possuem as duas metodologias implementadas.

### 1.1.1 Objetivos específicos

Com o propósito de atingir o objetivo geral estabelecido, são relacionados os objetivos específicos a seguir:

1. identificar as tecnologias habilitadoras para a indústria 4.0
2. identificar os princípios lean manufacturing;
3. analisar de que maneira a indústria 4.0 pode contribuir com a metodologia lean manufacturing
4. analisar de que maneira a metodologia lean manufacturing pode contribuir com a indústria 4.0

5. analisar as interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing em termos de direcionadores de valor, motivações e barreiras.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é composta por seis seções primárias ou capítulos. No capítulo um ou introdução se apresenta uma visão geral sobre indústria 4.0, lean manufacturing e ambos em conjunto assim como o objetivo do trabalho. No capítulo dois se encontra a revisão de literatura com detalhamentos sobre a indústria 4.0, sobre lean manufacturing e sobre ambos em conjunto. No capítulo três está a metodologia, que examina a revisão sistemática de literatura e estabelece as premissas para a pesquisa de campo. No capítulo quatro são apresentados os casos e respectivos estudos realizados. No capítulo cinco constam os resultados e discussões, tomando como base as análises cruzadas. No capítulo seis se encontram as conclusões e encerram os elementos textuais do trabalho.

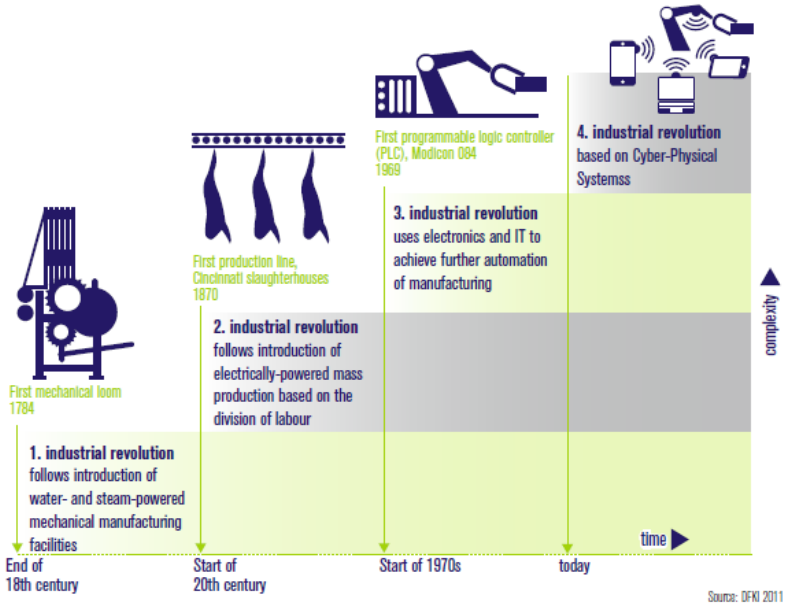
# 2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão de literatura são apresentados os referenciais teóricos sobre Indústria 4.0, lean manufacturing e ambos em conjunto utilizados como base para o desenvolvimento deste trabalho, dispostos a seguir.

## 2.1 INDÚSTRIA 4.0

Uma onda de inovações tecnológicas avança rapidamente causando impactos disruptivos na produção, na concorrência, nos modelos de negócios, no consumo e no estilo de vida das pessoas, que é caracterizada como 4ª Revolução Industrial (CNI, 2018). Esta nova revolução industrial é também chamada de indústria 4.0 (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016; PFEIFFER, 2017; SONY, 2018). A Figura 1 descreve as quatro revoluções industriais.

Figura 1 - As quatro revoluções industriais




Fonte: Kagermann, Wahlster, Helbig, 2013

A quarta revolução industrial é muito mais ampla que a simples conexão de sistemas e máquinas inteligentes e se destaca das demais revoluções por fusões e interações de tecnologia nos domínios físicos, digitais e biológicos difundidas de forma muito rápida (SCHWAB, 2016).

Desde o início da industrialização, a revolução industrial é caracterizada pelo nível de tecnologia empregado, sendo a primeira revolução reconhecida pela mecanização, a segunda pelo uso de energia elétrica, a terceira pela digitalização e a quarta definida pelo uso de internet (DRATH; HORCH, 2014, LASI et al., 2014) Schwab (2016) acrescenta que as três primeiras revoluções ainda se desdobram em algumas partes do mundo.

O termo industrie 4.0 foi cunhado por Henning Kagermann (físico e um dos fundadores da SAP), Wolfgang Wahlster (professor de inteligência artificial) e Wolf-Dieter Lukas (físico e oficial do Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha). O termo foi apresentado em uma conferência na feira de Hannover de 2011 e posteriormente difundido no Fórum Econômico Mundial de 2016 em Davos (PFEIFFER, 2017). No Brasil é utilizado o termo em português indústria 4.0 (ABDI, 2017; SCHWAB, 2016).

De acordo com Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), após a Feira de Hannover, foi formado um grupo de trabalho presidido por Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) e Henning Kagermann (Acatec). A quarta revolução industrial faz alusão ao versionamento de um software computacional (LASI et al., 2014).

Para CNI (2019), a indústria 4.0 aborda tecnologias como inteligência artificial e Internet of Things (IoT) ou internet das coisas. Conforme Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg

(2016), a indústria 4.0 aplica princípios como internet, Cyber Physical Things (CPS) ou Sistemas Ciber-Físicos, tecnologias avançadas e sistemas inteligentes com paradigmas aprimorados de interação homem-máquina. Wang et al. (2017) consideram que a indústria 4.0 é fundamentada em tecnologia da informação por meio de produção inteligente e flexível baseada em comunicação, interação, serviços, máquinas e ferramentas para fabricação de produtos customizados ao custo de produção em massa. De acordo com Fatorachian e Kazemi (2018), a indústria 4.0 suporta negócios e sistemas por meio de conectividade e integração como suporte à concorrência global em qualidade, custos e flexibilidade.

O mundo é um cenário em transformação, com elevada concorrência internacional baseada em inovação e estratégia para ecossistemas produtivos e na imersão de tecnologias com poder disruptivo (CNI, 2018). São grandes as oportunidades baseadas em convergência tecnológica por meio da digitalização da gestão, da produção e de mudanças nos modelos de negócios (CNI, 2019). Tecnologias da indústria 4.0 afetam a competitividade e o mercado em todas as atividades produtivas (CNI, 2019). De acordo com Pfeiffer (2017), a indústria 4.0 colocou a produção industrial novamente em destaque após ter sido posicionada como declínio e como resíduo de uma sociedade pós-industrial. Ainda de acordo com a mesma pesquisa, previsões apontam para a escala global em cadeias de valor com estruturas livres de conexões locais, conhecimentos regionais e configurações específicas de mercado através de estruturas de produção e serviço padronizadas globalmente com colaboração flexível (PFEIFFER, 2017).

### 2.1.1 A indústria 4.0 no mundo e no Brasil

De acordo com Dalenogare et al. (2018) e Liao et al. (2017), os conceitos da indústria 4.0 são disseminados em vários países por meio de iniciativas governamentais, como na Alemanha com "High-Tech Strategy 2020", nos Estados Unidos com "Advanced Manufacturing Partnership", na China com "Made in China 2025" e na França com "La Nouvelle France Industrielle". Adicionalmente, Liao et al. (2017) abordam a difusão da indústria 4.0 em Singapura com "Research, Innovation and Enterprise 2020", no Japão com o "5th Science and Technology Basic Plan" com interesse no setor de manufatura por intermédio da "Super Smart Society", na comissão europeia com "Factories of the Future" e no Reino Unido com "Future of Manufacturing" com horizonte no ano 2050.

Para o Brasil, seguem destaques em ordem cronológica sobre as ações que visam a viabilização da indústria 4.0, partindo de estudos e avaliações e culminando na divulgação pelo governo brasileiro da portaria e de pacotes de incentivos para a implementação:

1. Em 2016, foi realizada a pesquisa “Industry 4.0: a new challenge for Brazilian industry”, com iniciativa da Confederação Nacional das indústrias (CNI, 2016);
2. Em 2017, foi realizada a avaliação “Inovação, manufatura avançada e o futuro da indústria” pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) vinculada ao então Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e corrente Ministério da Economia (ABDI, 2017);
3. Em 2018, foi realizado o levantamento “Indústria 2027 - Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas” pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018);
4. Em dezembro de 2018, foi criada a portaria no. 2.091-SEI pelo governo brasileiro que aprova a metodologia a ser adotada nos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação voltados para a indústria 4.0 na Zona Franca de Manaus e cria o Selo da indústria 4.0 (MDIC, 2018);
5. Em março de 2019, foi lançado pelo governo brasileiro no Fórum Econômico Mundial em São Paulo um pacote de incentivos com R$ 9,1 bilhões em financiamentos e isenção de impostos para modernização da indústria brasileira (MDIC, 2019a);
6. Em abril de 2019 foi realizada a primeira reunião da Câmara Brasileira da indústria 4.0 formada por representantes do governo, de empresas e da academia, responsável pela criação da política nacional com plano de ação executado em setembro do mesmo ano para o período de 2019 a 2020 (MDIC, 2019b).

Conforme MDIC (2019c), algumas iniciativas de indústria 4.0 no Brasil estão relacionadas no portal de mapeamento 4.0 de responsabilidade do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.

### 2.1.2 Tecnologias Habilitadoras

A indústria 4.0 parece ser o resultado de uma mudança fundamental de paradigma na produção industrial com base em digitalização, combinação de tecnologias de internet e tecnologias inteligentes para máquinas e produtos, com visão futurística do processo de produção em que sistemas de manufatura modulares e eficientes controlam seu próprio processo de manufatura (LASI et al., 2014). A indústria 4.0 tem como conceito a utilização de novas tecnologias que melhoram a transmissão da informação e que proporcionam melhor controle e operação da produção (MOUEF et al., 2018).

Para Chiarello et al. (2018), há ambiguidade sobre a definição de tecnologias habilitadoras para a indústria 4.0. Wang et al. (2017) consideram 4 grupos principais de tecnologias habilitadoras: cyber-physical system ou sistema cyber-físico; big data, data mining e knowledge discovery; cloud computing, mobile computing e Internet of Things (IoT); internet of service. Moeuf et al. (2018) consideram as seguintes tecnologias como habilitadoras: cyber-physical system; big data; cloud computing; IoT; simulation; robotization; virtual reality; machine-to-machine communication; cyber security. Para Fatorachian e Kazemi (2018), as tecnologias habilitadoras são: cyber-physical system; big data analytics; cloud computing; IoT; industrial internet; information network; software systems. Segundo Sony (2018) as tecnologias habilitadoras são: cyber-physical system; cloud computing; IoT.

O Quadro 1 apresenta a ocorrência destas tecnologias na literatura pesquisada. Por similaridade, os termos "manufatura aditiva" e "impressão 3D" foram unificados, prevalecendo o termo "manufatura aditiva" para representar as duas tecnologias. Foi preservada a grafia mais comum encontrada na literatura, no idioma inglês para algumas tecnologias de indústria 4.0.

Quadro 2 - Tecnologias habilitadoras ou habilitadores para a indústria 4.0

| Tecnologia habilitadora | Dalenogare et al. (2018) | Fatorachian e Kazemi (2018) | Moeuf et al. (2018) | Okorie et al. (2018) | Sauacedo-Martiínez et al. (2018) | Stock et al. (2018) | Wang et al. (2017) | Yin, Stecke e Li (2018) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cloud | x | x | x | x | x | x | x | x |
| IoT | | x | x | x | x | | x | x |
| Big data | x | x | x | | x | | x | x |
| Manufatura aditiva | x | | | x | x | | | x |
| Simulação | x | | x | | x | | | |
| Robotização | | | x | | x | | | x |
| Tecnologias digitais | | | x | | x | | | |
| Inteligência artificial | | | | | | | | x |

Fonte: Autor

### *2.1.2.1 Cloud*

O termo cloud ou cloud computing se refere a uma unidade de processamento flexível, de baixo custo e larga escala para conexões de computadores e máquinas com a finalidade de realização de cálculos e de armazenamento de dados, cujas características principais são o acesso onipresente, rápida elasticidade de armazenagem através do acréscimo ou decréscimo de capacidade e independência de localização de recursos (DOPICO et al., 2016). Cloud possibilita a integração de objetos, serviços, dados e pessoas e pode ser amplamente utilizada no compartilhamento de dados com parceiros, na melhoria de desempenho de agilidade e flexibilidade e na redução de custos, como é o caso de fábricas com o uso de máquinas, transportadores e produtos inteligentes (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018). Serviços Cloud são fornecidos no formato de capacidade de computação, de processamento, de armazenamento distribuído e como infraestrutura, plataforma, software, quer seja o fornecedor público, privado ou comunitário (STOCK et al., 2018).

Mouef et al. (2018) destacam que a conectividade de redes por meio de cloud proporciona a comunicação e a troca de informação através de sistemas múltiplos e em tempo real, garantindo a disponibilidade de dados em todo lugar, a qualquer momento e independente da fonte. Para Fatoracbian e Kazemi (2018), cloud propicia alta velocidade de transmissão de dados gerados por produtos, dispositivos e máquinas independentemente de sua localização e transferidos a uma central de armazenamento para posteriores acessos, agregação, análise e preparação de análise big data.

#### *2.1.2.2 Internet of Things (IoT)*

Boyes et al. (2018) explicam que há inúmeras definições de IoT, porém que IoT resumidamente pode ser descrito como uma infraestrutura de rede composta por componentes inteligentes como sensores ou atuadores incorporados a objetos e dispositivos comuns capazes de comunicar automaticamente dados sobre si e seus arredores com outros objetos e sistemas para gerenciamento, mineração, análise e acesso a dados de forma remota ou não remota.

Para Fatoracbian e Kazemi (2018), IoT habilita a inteligência cyber física a baixo custo em máquinas e dispositivos, como sensores e atuadores, na execução de ações de controle, monitoramento e detecção. Yamaguchi et al. (2018) mencionam o monitoramento por IoT em tubulações de água que substitui a inspeção por captação de sinais por um operador a pé ou em um carro em movimento. Dave et al. (2018) descrevem o uso de IoT no gerenciamento de recursos para construção como caminhões pesados, veículos pessoais e equipamentos específicos.

Ashton et al. (2009) afirmam que computadores e internet que servem à economia e à sociedade dependem de dados originados tanto por pessoas como por objetos ou "coisas". Kiel et al. (2017) associam IoT à benefícios e desafios econômicos, ecológicos e sociais.

#### *2.1.2.3 Big Data*

A quantidade de dados disponíveis na atualidade criou a necessidade de uma tecnologia inteligente capaz de administrar o volume corrente de informações cujo termo atribuído é big data. De acordo com Chen, Chiang e Storey (2012), big data é a aplicação de técnicas analíticas utilizadas para avaliação de conjuntos de dados extremamente grandes que variam de terabytes a exabytes com grande complexidade de origem diversificada que varia de sensores às mídias sociais.

Conforme Noh (2008), big data é importante para a sobrevivência e concorrência de empresas e que podem contribuir em pesquisa, desenvolvimento, design, cadeia de fornecedores, serviços, vendas e marketing, entre outros. Fatorachian e Kazemi (2018) consideram que big data proporciona a análise de dados em tempo real com foco em solução de problema e melhoria de desempenho.

#### *2.1.2.4 Cyber Physical Systems (CPS) Ou Sistemas Físicos Cibernéticos*

A indústria 4.0 é frequentemente associada a aplicação do CPS (DRATH; HORCH, 2014; HARRISON; VERA; AHMAD, 2016; WAGNER; HERRMANN; THIEDE, 2017). Wagner, Herrmann e Thiede (2017) se referem à CPS como um sistema com sensor físico conectado à internet dotado de software para controle de processo baseado em atuador autônomo. Wang et al. (2017) associam CPS a recursos de manufatura conectados por vários tipos de computadores e de redes de comunicação.

De acordo com Buer, Strandhagen e Chan (2018), a implementação de CPS na produção proporciona inteligência às máquinas, que podem identificar desvios rapidamente, analisar as causas e iniciar correções de forma automática.

Para Harrison, Vera e Ahmad (2016), a crescente disponibilidade de CPS pode mudar radicalmente a natureza da produção e de modo a proporcionar sistemas de automação mais eficazes, refinados e autoconfiguráveis por facilitar o monitoramento de processos físicos, criação de cópia virtual do mundo físico e tomada de decisão descentralizada baseada em representação virtual de dispositivos e funcionalidades físicas.

#### *2.1.2.5 Manufatura Aditiva*

Dopico et al. (2016) consideram que os termos “manufatura aditiva” e “impressão 3D” têm o mesmo significado e que se refere à capacidade de produzir objetos tridimensionais customizados com equipamento específico a partir de modelos virtuais sem a necessidade de moldes. Para Rayna e Striukova (2016), a manufatura aditiva envolve a criação de um modelo digital do objeto a ser manufaturado através de software baseado em Computer Assisted Design (CAD) ou de scanner 3D para o caso de objetos existentes para efetivação da impressão 3D que consiste na deposição de material em níveis sucessivos. Chen e Lin (2017) afirmam que manufatura aditiva tem grande potencial de penetração na vida diária e na manufatura, porém há preocupações quanto ao rendimento, velocidade de crescimento da indústria de impressão e repetibilidade dos objetos produzidos.

Rayna e Striukova (2016) mencionam que os materiais mais utilizados são os plásticos ABS, PLA e nylon e que também materiais como ligas metálicas, cerâmicas, partículas de madeira, sal, açúcar e chocolate podem ser utilizados para a impressão de uma vasta gama de objetos como peças, protótipos, moldes, ferramentas, brinquedos, instrumentos musicais, mobília, próteses, e órgãos humanos, entre outros.

De acordo com Dopico et al. (2016), como principais benefícios da manufatura aditiva são apresentados redução de custos de manufatura e como exemplo a redução de custo de protótipos, disponibilização da produção de forma descentralizada, redução de estoque, redução de custos de transporte e como restrições são caracterizadas baixa taxa de produção e baixa disponibilidade de matéria prima a alto custo. Waller e Fawcett (2014) mencionam que a impressão 3D pode reduzir o número de componentes de um produto acabado e que pode ser utilizada desde pequenos fabricantes até gigantes da aviação como a empresa Boeing.

#### *2.1.2.6 Simulação*

Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018) consideram simulação como a representação do mundo físico em um modelo virtual, utilizada para avaliações de equipamentos, produtos e produção e como exemplo de sua utilização em produção simulações de operações de usinagem, movimentos robóticos e respectivos custos. Para Saucedo-Martínez et al. (2018), por meio de simulação é possível testar mudanças, comportamentos e eficiência para diferentes configurações de novos projetos como de máquinas, de fluxos de processo e de

desenhos de plantas, antes de execução física e proporcionar economia de tempo, redução de recursos e redução de risco.

Para simulação, Chalal, Boucher e Marquèz (2015) consideram as seguintes abordagens como principais: avaliação de sistemas dinâmicos para antecipar estratégias de desempenho e influência de premissas; autonomia dos atores, influência mútua entre atores e comportamentos decisivos; avaliação de vida útil frente ao cenário econômico e às incertezas.

Caggiano e Teti (2013) mencionam a aplicação de simulação para modelagem, análise e melhoria de células de manufatura industrial existentes, como a avaliação de lotes de produção com objetivo de melhorar tempo de processo e utilização de recursos. Rosienkiewicz et al. (2018) simularam o planejamento e decisão de programação de produção de forma efetiva e com maximização do uso de estações de trabalho para fabricação de conjuntos móveis em situações de difícil previsão de demanda e salientaram o baixo custo de simulação frente ao custo de experimento em campo.

#### *2.1.2.7 Robotização*

De acordo com Weatherall (1992), robô industrial é uma máquina multiuso utilizada na operação de ferramentas especiais, materiais e peças por meio de ações e movimentos programados, dotada de unidade de controle memorizável, que pode usar aparelhos de detecção para adaptação ao ambiente e que normalmente é projetada para executar funções repetitivas. Para WEF (2016), robôs avançados dotados de sentidos aprimorados, destreza e inteligência podem ser mais práticos do que seres humanos no desempenho de atividades de manufatura, limpeza e manutenção.

Conforme Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018), robôs são sistemas que proporcionam autonomia, flexibilidade e cooperação associados à redução de custo, diferentes habilidades e execução de processos de uma fábrica inteligente. Para Saucedo-Martínez et al. (2018), robôs proporcionam benefícios em linhas de produção como o incremento de eficiência, otimização do sistema e redução de erros e a administração por meio de atividades autônomas, como por exemplo em Enterprise Resourcing Planning (ERP). Bahrin et al. (2016) consideram que robôs estão se tornando mais autônomos, flexíveis, cooperativos e seguros para interação entre robôs e seres humanos, com custos cada vez menores e com múltiplas habilidades.

Kerin e Pham (2019) mencionam a utilização de robôs em células de desmontagem providos de sensores inteligentes com adaptação em tempo real. De acordo com Bogue (2017), atualmente os robôs são desenhados para operarem próximos de seres humanos e não mais

somente em espaços restritos, quer sejam eles estacionários ou móveis, com os seguintes exemplos de tipos de robôs: robôs colaborativos, robôs de armazém, AGVs (Automated Guided Vehicle), máquinas agrícolas robóticas, robôs domésticos e exoesqueletos robóticos. Bahrin et al. (2016) afirmam que a utilização de robôs inteligentes é o alvo da indústria 4.0 que foca na produção autônoma.

#### *2.1.2.8 Inteligência artificial*

De acordo com Dopico et al. (2016), a inteligência artificial tem como conceito a seleção e análise de informação originada por diversos tipos de sensores, com o objetivo de prover interpretação e sugestão para a ação mais apropriada.

Lee et al. (2018) afirmam que a inteligência artificial é uma ciência cognitiva com foco em desenvolvimento, validação e implementação de algoritmos com destaque para processamento de imagem, processamento de linguagem natural e robotização, com a caracterização de cinco elementos chave descritos como ABCDE, que são: A) analytics technology ou tecnologia analítica; B) big data technology ou tecnologia big data; C) cloud e cyber technology ou tecnologia cibernética; D) domain know-how ou domínio de know-how; E) evidence ou evidência.

Golan, Cohen e Singer (2019) mencionam que a computação afetiva, que é a ciência que estuda sistemas que podem reconhecer, interpretar, processar e simular afetos humanos, é importante para a compreensão da inteligência humana e consequentemente para o avanço da inteligência artificial.

Zhang et al. (2019) relacionam os seguintes benefícios para a cadeia de valor industrial relacionados à inteligência artificial:

1. Demanda e reposição com erro reduzido em 20 até 50%;
2. Pesquisa e desenvolvimento em alta performance com redução de custos de 10 a 15% e redução de tempo de comercialização de 10%;
3. Gerenciamento de operações com melhoria de qualidade em processos e melhoria de eficiência com taxa de automação de 30%;
4. Produção e processamento: redução de perdas em 30% com aumento de produtividade e redução de sucata e testes, aumento de produtividade em 20% por meio de robôs colaborativos, aumento da produtividade em 50% e aumento da detecção de defeitos em 90%;

5. Serviço industrial: aumento de 20% em produtividade de ativos e redução de 10% em custos de manutenção devido à previsão de falhas.

#### *2.1.2.9 Tecnologias digitais: digitalização, virtualização, realidade aumentada e realidade virtual*

Tecnologias digitais é tido como um habilitador de indústria 4.0, que é composto de quatro tecnologias descritas como digitalização, virtualização, realidade aumentada e realidade virtual, cujas definições se encontram a seguir.

##### *2.1.2.9.1 Digitalização*

De acordo com Brennen e Kreiss (2916), digitização e digitalização são dois termos associados e normalmente intercambiáveis, porém com significados específicos. Ainda de acordo com a mesma pesquisa digitização é o processo material de conversão de informação analógica em informação digital ou em bits e digitalização é o modo como os domínios da vida são reestruturados em torno de infraestrutura digital. Para Isaksson, Harjunkoski e Sand (2018), digitalização se refere a novas possibilidades providas por novos tipos de dados, infraestrutura de comunicação e poder de computação, com profundo impacto na vida de consumidores, na indústria e nos negócios.

Para Telukdarie et al. (2018), a digitalização é uma oportunidade para empresas globais que podem fazer uso de sinergias entre operações localizadas e funções centrais como pesquisa e desenvolvimento, estratégia, investimentos e finanças, além de otimizações de ativos e cadeia de suprimentos. Isaksson, Harjunkoski e Sand (2018) ainda mencionam aplicativos para smartphones que colaboram no contato com os amigos, agendamento de viagem, entretenimento, entre outros como soluções digitais.

##### *2.1.2.9.2 Virtualização*

Mazurek (2012) descreveu virtualização como uma derivação do termo virtual e que pode ser definido como simulado ou realizado por meio de computador e que não é real. Ferrari et al. (2018) abordam o uso de virtualização em atividades como monitoramento, análise e otimização de processos para operações manuais de fabricação e montagem.

Brettel et al. (2014) afirmam que a virtualização está relacionada com o potencial de otimização em produção por meio da disponibilização de informações de produtos e produção em tempo real. Lu (2017) considera que a virtualização na manufatura é composta por 3 níveis: engenharia de objetos, engenharia de processo e engenharia de fábricas, sendo os mesmos muito importantes para alcançar alto nível de máquinas inteligentes, automação industrial e planejamento avançado.

*2.1.2.9.3 Realidade aumentada*

Chiarello et al. (2018) consideram que realidade aumentada é uma visão em tempo real do ambiente físico acrescida de informações geradas por computador em formato gráfico ou de som, vídeo, GPS. Para Palmarini et al. (2018), a realidade aumentada é uma maneira de incrementar o mundo real com objetos virtuais por intermédio de sistemas específicos, com propriedade de combinar o mundo real e mundo virtual em um ambiente real.

Zheng et al. (2018) afirmam que a realidade aumentada pode proporcionar interação em tempo real entre softwares como Computer Aided Design (CAD) e Computer Aided Manufacturing (CAM) com CPS e impressão 3D para impressão de protótipo físico. Palmarini et al. (2018) apresentam que realidade aumentada possui aplicação em diversas áreas como turismo, entretenimento, marketing, logística, fabricação, manutenção, cirurgia, entre outros.

Damiani et al. (2018) relatam que realidade aumentada não é tão difundida quanto a realidade virtual, porém que atrai interesse devido à aplicação de baixo custo por meio de smartphones e tablets e sumariza as principais vantagens de sua implementação: controle de produção e diagnóstico de erros; segurança e proteção de sistemas de produção; melhoria de planejamento com combinação de recursos; projeto e configuração do produto; disponibilização de informações nos níveis operacional e coorporativo; melhoria da cooperação entre operadores; máquinas e ensino de atividades complexas a operadores de maneira segura.

*2.1.2.9.4 Realidade virtual*

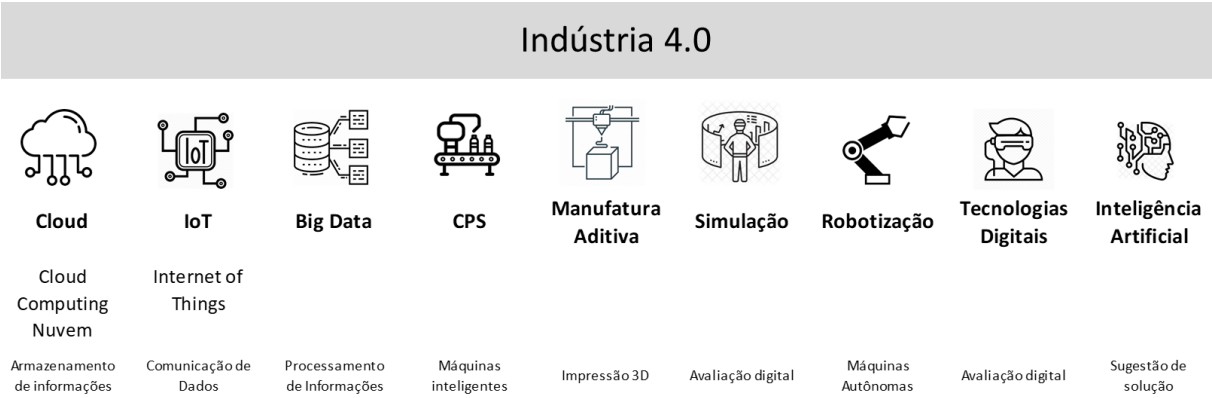
Chiarello et al. (2018) consideram que a realidade virtual representa a presença física do usuário em um ambiente imaginário que é representado por imagens, sons e sensações. Wolfartsberger, Zenisek e Sievi (2018) indicam que a realidade virtual é um ambiente gerado por computador no formato tridimensional, que pode ser explorado interativamente por uma ou mais pessoas.

Damiani et al. (2018) consideram que as aplicações da realidade virtual bem-sucedidas foram constatadas em prototipagem virtual, usinagem virtual, montagem, diagnóstico de falhas e operações de fabricação. Zheng et al. (2018) mencionam o uso de realidade virtual para prototipagem em manufatura aditiva e experiências com equipamentos como fone de ouvido e óculos de realidade virtual como estratégia de marketing.

Para Sacco et al. (2016), pequenas e médias empresas ainda procuram soluções customizadas, mais adequadas e economicamente viáveis como alternativa à implementação de realidade virtual. Em contrapartida, Wolfartsberger, Zenisek e Sievi (2018) justificam que a aplicação de realidade virtual é conveniente por ser uma ferramenta multimodal de baixo custo utilizada na revisão de projetos.

Yin, Stecke e Li (2018) afirmam que a Toyota tem planejamento de investimentos em inteligência artificial para agilizar e flexibilizar projetos, como por exemplo no uso de decisão assertiva de fornecimento. Tyagi (2016) reconhece o produto Watson da empresa IBM como uma referência em inteligência artificial. Assim, fica representada conforme Figura 2 a indústria 4.0 com as tecnologias habilitadoras, a seguir:

Figura 3 - Habilitadores de indústria 4.0




Fonte: Autor

## 2.2 LEAN MANUFACTURING

Muitos são os sistemas de produção existentes, mas existe uma característica básica entre eles que é a de produção empurrada e de produção puxada. O sistema de produção empurrada é o que utiliza amplamente a capacidade da fábrica de acordo com a quantidade planejada, conforme previsão de demanda e estoques disponíveis e o sistema de produção puxada é o que retira somente as quantidades necessárias no final, assim como em etapas

anteriores do processo (OHNO, 1997). Stone (2012) associa o termo produção empurrada à produção em massa e ao oposto produção puxada. São características primárias dos sistemas de produção o controle do trabalhador, o nível de inventário e tamanho de áreas de reparo (KRAFCIK, 1988).

Ford Production System (FPS) foi a filosofia de produção idealizada por Henry Ford e divulgada em "today and tomorrow" em 1927. Serviu de base para os estudos de Kiichiro Toyoda, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno para o aperfeiçoamento de princípios e ferramentas para a elaboração do Sistema Toyota de Produção (STP) que faz uso do Just in Time (JIT) como componente chave (SHAH; WARD, 2007).

STP é sucintamente descrito por Ohno (1997, p. XI): "Tudo o que estamos fazendo é olhar para a linha do tempo, do momento que o freguês nos entrega um pedido até o ponto em que recebemos o dinheiro. E estamos reduzindo essa linha do tempo removendo os desperdícios que não agregam valor."

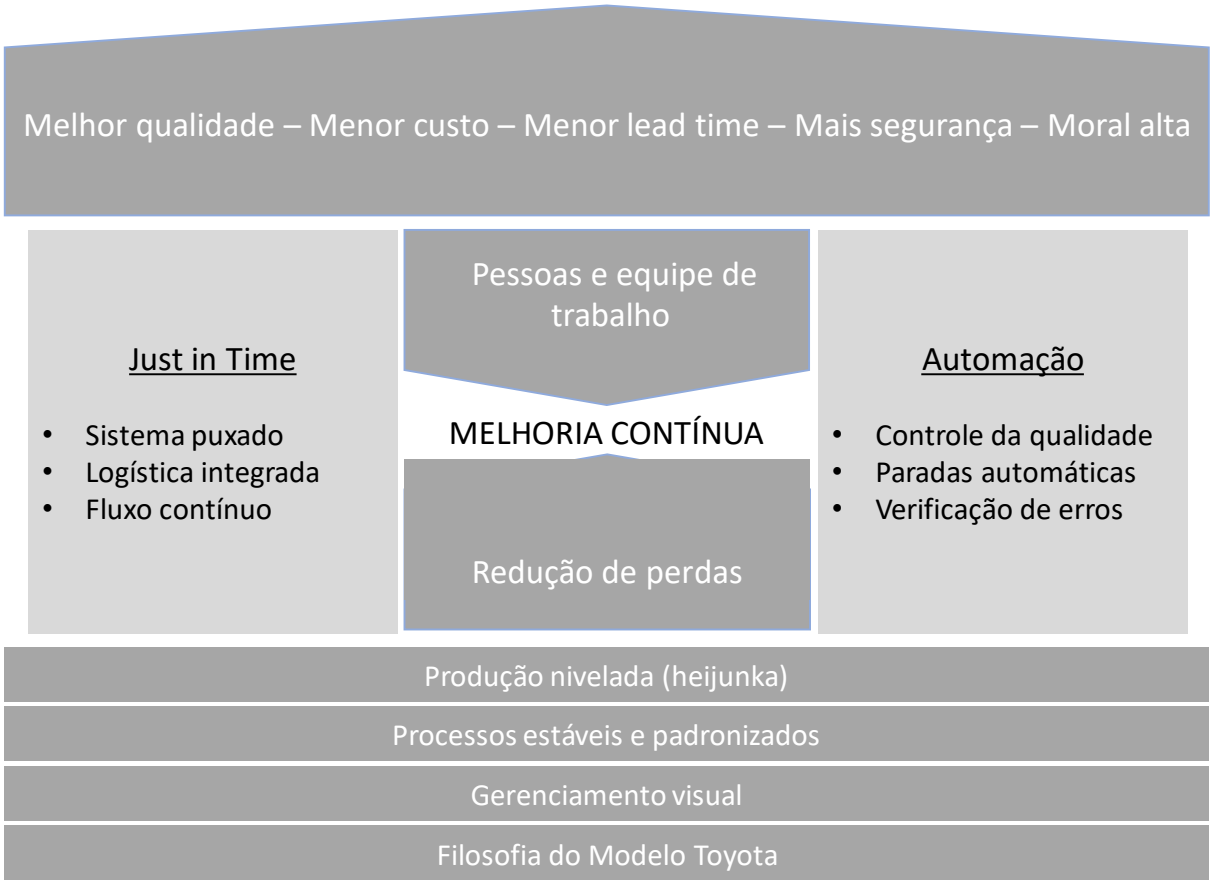
Para Shah e Ward (2007), lean manufacturing é um sistema sociotécnico integrado, cujo objetivo é eliminar desperdícios com impacto em fornecedores e clientes. Zuehlke (2010) descreve que o lean manufacturing está relacionado com redes e não com hierarquias, em que equipes de trabalho são dinâmicas e auto coordenadas, com cada funcionário responsável por sua respectiva atividade. Para o que se refere ao lean manufacturing, Ohno (1997) conceitua que a redução de custos é um objetivo e que eliminar desperdícios é um fundamento. Buer, Strandhagen e Chan (2018) colocam como princípios a redução de custo de produção, melhoria da qualidade, redução de lead time e incremento de flexibilidade. Dahlgaard-Park e Pettersen (2009) afirmam que não há definição clara para o lean manufacturing e finalizam considerando que a falta de definição pode levar a problemas de comunicação, pesquisa e definição de objetivos.

### 2.2.1 Princípios do lean manufacturing

De acordo com Liker (2005), os princípios do lean manufacturing são representados no formato de uma casa (Ver Figura 3): como alicerce da casa tem-se filosofia do Modelo Toyota, gerenciamento visual, processos estáveis e padronizados e produção nivelada (heijunka); como sustentação estão duas colunas, uma simbolizando o just in time e outra sinalizando a automação; como elementos centrais estão pessoas e equipe de trabalho e também redução das perdas ou redução de desperdícios; ao centro e em destaque está melhoria contínua; por fim, o

telhado descreve as metas de melhor qualidade, menor custo, menor lead time, mais segurança e moral alta.

Figura 4 - Princípios do lean manufacturing




Fonte: Autor "adaptado" de Liker, 2005

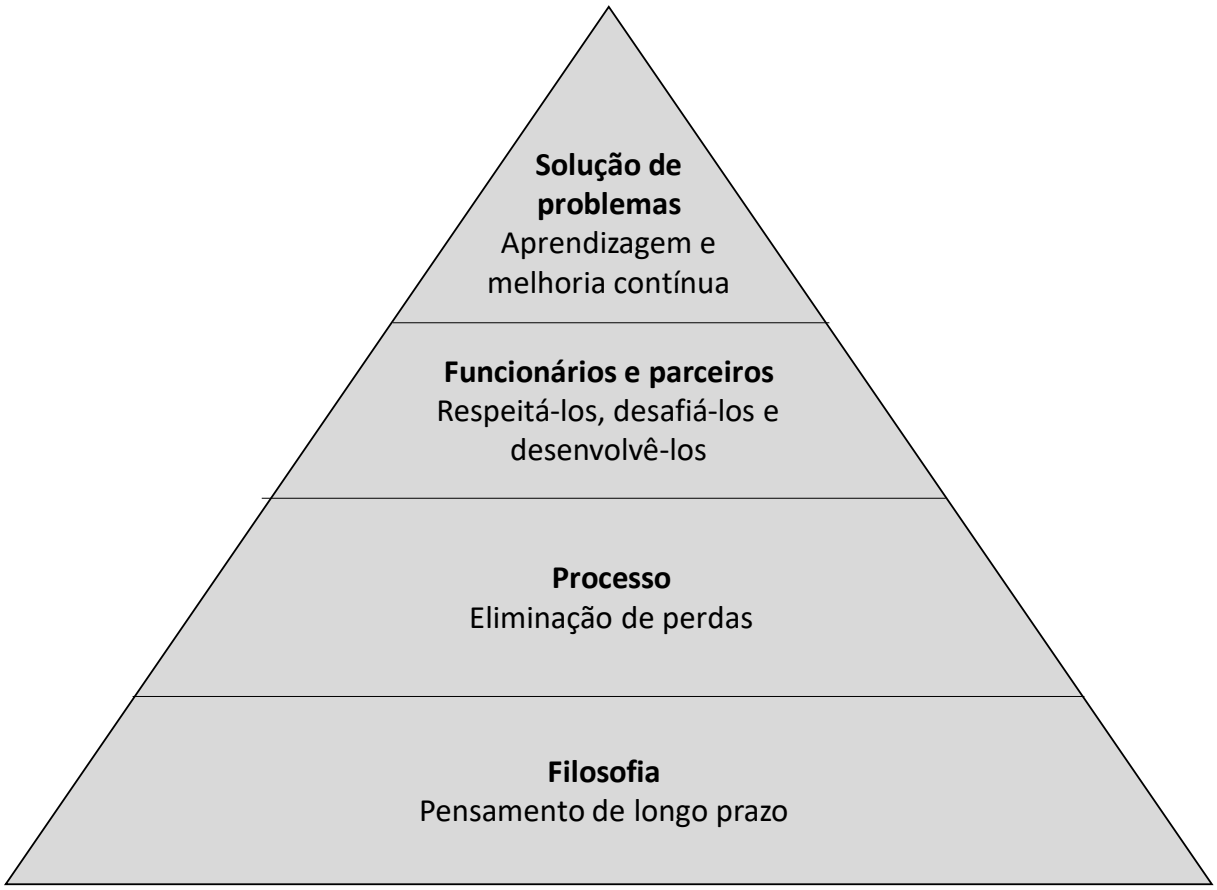
#### 2.2.1.1 Filosofia do Modelo ou cultura Toyota 4P

Segundo Spear et al. (1999), o STP demonstra vantagem competitiva por meio do processo de melhoria contínua. A melhoria contínua, também caracterizada como kaizen, é um processo de melhoria com base na inovação incremental e sustentada em toda a organização (BESSANT; FRANCIS, 1999). Através da dedicação ao STP, é possível reproduzir o DNA Toyota e consequentemente seu desempenho (SPEAR, 1999).

Para Liker e Hoseus (2009), a cultura Toyota é representada pela pirâmide 4Ps, com referência à filosofia (relacionada ao propósito da Toyota e ao porquê de sua existência); processo (relacionado à crença da Toyota em excelência operacional e eliminação de perdas); funcionários e parceiros (aqueles que impulsionam a empresa, sendo a cultura da Toyota a base

sobre como agir, pensar e sentir para trabalhar em equipe em prol de um objetivo comum); solução de problemas (modo como os funcionários concentram seus esforços para a melhoria contínua) (Ver Figura 4).

Figura 5 - Pirâmide 4Ps da cultura Toyota




Fonte: Autor "adaptado" de Liker e Hoseus, 2009

### 2.2.1.2 Gerenciamento visual

Goodson (2002) se refere ao gerenciamento visual como uma ferramenta que fornece indicações visuais e orientações de forma clara a funcionários sobre ações e locais apropriados, e que pode aumentar significativamente a produtividade. Eaidgah et al. (2016) aponta evidências sobre indicações visuais como ferramenta de trabalho datadas de 25 a.C. encontradas no The Egiptian Royal Cubit, que podem ser utilizadas para projeto de construção e se remete aos anos 1940 e 1950 no STP como procedimentos visuais modernos para processos padrão em ferramentas como diagrama de espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa, fluxogramas, folhas de verificação, diagramas de Pareto, diagramas de causa e efeito, histogramas, diagramas de

dispersão e gráficos de controle e indica que este formato solucionaria 95% dos problemas relacionados à qualidade.

#### 2.2.1.3 Processos estáveis e padronizados

Yingling, Detty e Sottile Jr. (2000) definem processo estável como aquele que produz 100% de qualidade, que está disponível durante o intervalo de produção programado e que conclui a tarefa dentro do tempo operacional definido. Dennis (2008) considera necessária a avaliação de 4M´s para garantir a estabilidade do processo: Man (operador); Machine (máquina): Material (material); Method (método). Ahmad et al. (2012) confirmam que lean manufacturing requer processo estável e afirma que é possível por meio de eliminação de causas anormais de interrupção de produção e menciona como exemplo distorções por equipamento deficiente ou operação incompetente.

Jaffar, Halim e Yusoff (2012) conceituam que um processo padronizado é composto por uma sucessão de trabalhos padronizados ou Standardized Work (SW), cuja implementação do trabalho padronizado se dá em cinco fases: 1) observação para entender condições de estudo; 2) coleta de dados através de observação; 3) análise de dados com uso de ferramentas de trabalho padronizado; 4) desenvolvimento de processo padronizado; 5) análise de desempenho do processo padronizado. Para Antoniolli (2017), trabalho padronizado garante que procedimentos sejam executados independentemente do funcionário envolvido. Aronsson, Abrahamsson e Spens (2001) salientam que no trabalho padronizado, o processo planejado é executado de maneira padronizada. Bragança e Costa (2015), destacam a composição do trabalho padronizado por três elementos chave: tempo de ciclo, sequência de trabalho e estoque em processo ou estoque work-in-process.

#### 2.2.1.4 Produção nivelada ou heijunka

Para Coleman et al. (1994), heijunka é a distribuição de produtos durante um período do processo de produção com o objetivo de reduzir o inventário e proporcionar o balanceamento da carga de trabalho de acordo com a capacidade de processo de produção existente e conforme sequência pré-estabelecida. Hutmmeir et al. (2009) argumentam que o objetivo do heijunka é evitar “picos e vales” na produção através da distribuição das atividades e no aumento da taxa de utilização da produção, que é também conhecido como suavização ou nivelamento da produção e que pode aumentar a competitividade da empresa.

#### *2.2.1.5 Just in Time (JIT)*

Ohno (1997) conceitua que o termo Just in Time (JIT) significa a entrega em um processo do item necessário, quando necessário e na quantidade necessária. De acordo com Corrêa e Corrêa (2006) o JIT foi criado pela Toyota como um sistema de administração que pudesse coordenar a produção com demanda para diferentes modelos e cores de veículos e ainda relacionam os principais aspectos da filosofia JIT que são: produção sem estoques, produção enxuta; eliminação de desperdícios, manufatura de fluxo contínuo e esforço contínuo na solução de problemas.

Womack, Jones e Roos (1992) caracterizam que fornecedores de empresas montadoras automotivas são céticos quanto a implementação de JIT mediante a justificativa de que estoques e consequentes custos são administrados pelos próprios fornecedores, porém sem considerar que JIT deve ser implementado em toda a cadeia produtiva inclusive em fornecedores de fornecedores. Womack, Jones e Roos (1992) ainda relacionam o termo JIT ao termo kanban, e Corrêa e Corrêa (2006) detalham que kanban é uma técnica de operacionalização de JIT através de cartões para indicar a autorização de movimentação de itens ao longo do processo produtivo.

#### *2.2.1.6 Autonomação ou jidoka*

Para Miltenburg (2001), jidoka ou autonomação atribui ao operador a propriedade de paralisar a linha de produção ao detectar um problema para consequente correção nas seguintes situações: 1) quando um problema de qualidade ocorre; 2) quando um problema de máquina de produção ocorre; 3) quando o processamento está incompleto. Conforme Hinckley (2007), a melhor interpretação para jidoka é automação com um toque humano e considera como atributos de jidoka a distinção entre equipamento e operador, a independência de atividades entre o equipamento e o operador e, por fim a realização de setup, carregamento e descarregamento do equipamento à prova de erros.

#### *2.2.1.7 Pessoas e equipe de trabalho*

Womack, Jones e Roos (1992) atribuem como o evento que caracterizou o surgimento do STP, a negociação da Toyota com o sindicato em meados de 1940 frente a uma profunda crise financeira da empresa, cujos pontos foram a redução de funcionários, o emprego vitalício

e melhorias do processo, entre outros. Liker (2009) descreve que o modelo Toyota estimula, ampara e de fato exige o envolvimento de funcionários na melhoria de seu próprio trabalho, o que é uma cultura muito além de um conjunto de técnicas de melhoria e de incremento de eficiência. Ainda de acordo com a mesma pesquisa os funcionários têm sentido de urgência, propósito e trabalho em equipe, mesmo porque se os problemas não forem resolvidos resultarão em falhas.

IMAI (1996) avalia que a gerência precisa atingir o coração dos funcionários antes de lidar com ferramentas e tecnologias. IMAI (1996) ainda destaca a importância para o desenvolvimento de ações que agreguem valor como o envolvimento dos funcionários, elevação do moral, autodisciplina, círculos de qualidade e sugestões diretamente relacionadas a disciplinas como comunicação, empowerment e desenvolvimento de habilidades e ainda relaciona dez regras comportamentais para uso no chão de fábrica:

1. Descarte o pensamento convencional;
2. Pense em como fazer, e não pense em porque não pode ser feito;
3. Não invente desculpas. Comece questionando as práticas existentes;
4. Não busque a perfeição. Faça mesmo que consiga alcançar apenas 50% da meta;
5. Corrija os erros imediatamente;
6. Não gaste dinheiro em kaizen;
7. A sabedoria surge em meio à opressão;
8. Pergunte “Por que?” cinco vezes e busque a causa básica;
9. Busque a sabedoria de dez pessoas, em lugar do conhecimento de uma;
10. As oportunidades para o kaizen são infinitas.

Wakabayashi (1996) conclui que, com base em experimento, uma equipe é motivada e voluntária durante a implementação de lean manufacturing quando vivencia condições propícias ao comportamento inovador e espontâneo, à estrutura organizacional inclusiva e inovadora e que são considerados programas de desenvolvimento de pessoas e equipe.

#### *2.2.1.8 Redução das perdas ou redução de desperdícios*

Corrêa e Corrêa (2006) descrevem desperdício como qualquer atividade realizada que não agrega valor ao processo. Ohno (1997), conceitua que no STP são encontrados 7 tipos de desperdícios a serem eliminados ou reduzidos, sendo: 1) de superprodução; 2) de tempo disponível (espera); 3) em transporte; 4) do processamento em si; 5) de estoque disponível (estoque); 6) de movimento e 7) de produção de produtos defeituosos e ainda afirma que

eliminar desperdícios pode resultar no aumento significativo da eficiência de operação. IMAI (1996) descreve a palavra desperdício com a palavra muda e ainda associa a outras duas palavras que são mura e muri, formando assim os 3 mu´s, com mura relacionada à irregularidade de processo ou à interrupção de um fluxo de trabalho contínuo e muri associada ao trabalho exaustivo ou excessivo tanto para operários como para máquinas e processos.

#### *2.2.1.9 Melhoria contínua ou kaizen*

De acordo com IMAI (1994), kaizen é o conceito predominante por trás da boa administração que une a filosofia, os sistemas e as ferramentas para solução de problemas que foram desenvolvidas no Japão entre as décadas de 1950 e 1980. Para IMAI (1996), kaizen na língua japonesa significa melhoria contínua, envolve a todos com relativamente poucas despesas, fomenta pequenas melhorias e de forma incremental e proporciona resultados significativos ao longo do tempo, com destaque aos principais sistemas kaizen: controle de qualidade total, sistema de produção just in time, manutenção produtiva total, desdobramento de políticas, sistema de sugestão, atividades em pequenos grupos.

Corrêa e Corrêa (2006) enfatizam que kaizen pode ser desenvolvido por meio de atividades em vários formatos e objetivos junto a times de trabalho que através de intenso envolvimento sugerem, analisam, propõem e cujo resultado é submetido à avaliação de comitê competente aplicável para avaliações de processos, fluxos de trabalho, arranjos físico, métodos, divisão de trabalhos, equipamentos, instalações entre outros.

## 2.3 INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

A evolução da indústria através das revoluções industriais culminou na indústria 4.0, manifestada em 2011 na Alemanha. É marcada por sistemas avançados de informação e comunicação com tecnologias inovadoras, a serem implementadas em uma indústria existente predominantemente com base em manufatura enxuta e com o objetivo de zero desperdício. A interface entre indústria 4.0 e lean manufacturing ainda não é plenamente reconhecida (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016). Tanto a indústria 4.0 como lean manufacturing utilizam controle descentralizado e têm como objetivo incrementar a produtividade e flexibilidade, com a consideração inicial que o lean manufacturing, em sua forma mais pura é totalmente independente de qualquer tipo de automação e que CPS e IoT são componentes chave introdutórios da indústria 4.0 (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018).

A associação de indústria 4.0 com lean manufacturing se mostrou positiva na literatura, apesar dos domínios serem concorrentes, e conduz ao incremento de desempenho da empresa independentemente de seu tamanho, de acordo com estudo baseado em empresas brasileiras de manufatura de diferentes setores (TORTORELLA; FETTERMANN, 2017).

Aparentemente o lean manufacturing atingiu seu limite, onde variações de produto com base em demanda de mercado são conflitantes, com capacidade de utilização de produção nivelada, tendo em vista que lean manufacturing é provido de sequência de produção e tempos de ciclo fixos, o que é uma limitação para produtos com ciclo de vida menores e produção individualizada (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015). No contexto da indústria 4.0, a demanda por produtos de produção em massa com alta customização torna necessário o incremento de flexibilidade do sistema de produção, onde a produção lean baseada em produção centrada no operador ou no alto grau de automatização é insuficiente (MA; WANG; ZHAO, 2017).

A interação entre lean manufacturing e automação existe desde a década de 1990, cujo objetivo já era aumentar a flexibilidade e reduzir o fluxo de informação para atender à demanda do mercado que pode ser incrementado com as ferramentas da indústria 4.0 (KOLBERG; KNOBLOCH; ZÜHLKE, 2017). Com o lean manufacturing como base para a criação de sistemas e organizações através da incorporação de tecnologias da indústria 4.0, a fábrica inteligente proporciona a auto-organização de equipamentos em substituição à tradicional hierarquia (ZUEHLKE, 2010).

A inteligência pode proporcionar alto nível lean à produção, baseado em análise big data na solução de problemas como análise da cadeia de valor e avaliação de inventário de segurança (WANG et al., 2016). A indústria 4.0 utiliza equipamentos com tecnologia no estado da arte e, consequente investimento financeiro intenso, o que faz com que seja necessário um sistema lean manufacturing com redução ou eliminação de desperdícios tanto no processo existente como em sua implementação (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

A introdução da indústria 4.0 não elimina a manufatura enxuta, mas contribui com sua maturidade (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018). O lean manufacturing é a base para o sistema de manufatura inteligente e ainda é útil em sua implementação, funciona como um guia. Na implementação da indústria 4.0, as empresas devem integrá-la com o lean para a obtenção dos melhores benefícios de ambos (SONY, 2018). O lean manufacturing pode ser considerado um complemento da indústria 4.0 (TORTORELLA; FETTERMANN, 2017). lean manufacturing acrescido de indústria 4.0 faz com que a fábrica além de enxuta seja também inteligente (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

Aplicações da indústria 4.0 podem estabilizar a produção e dar apoio ao lean manufacturing, como o sistema JIT baseado em CPS, que em processo logístico reduz estoque, reduz o armazém, reduz o material em processo e elimina o excesso de produção e proporciona produção em pequenos lotes com redução de lead time (WAGNER; HERRMANN; THIEDE, 2017).

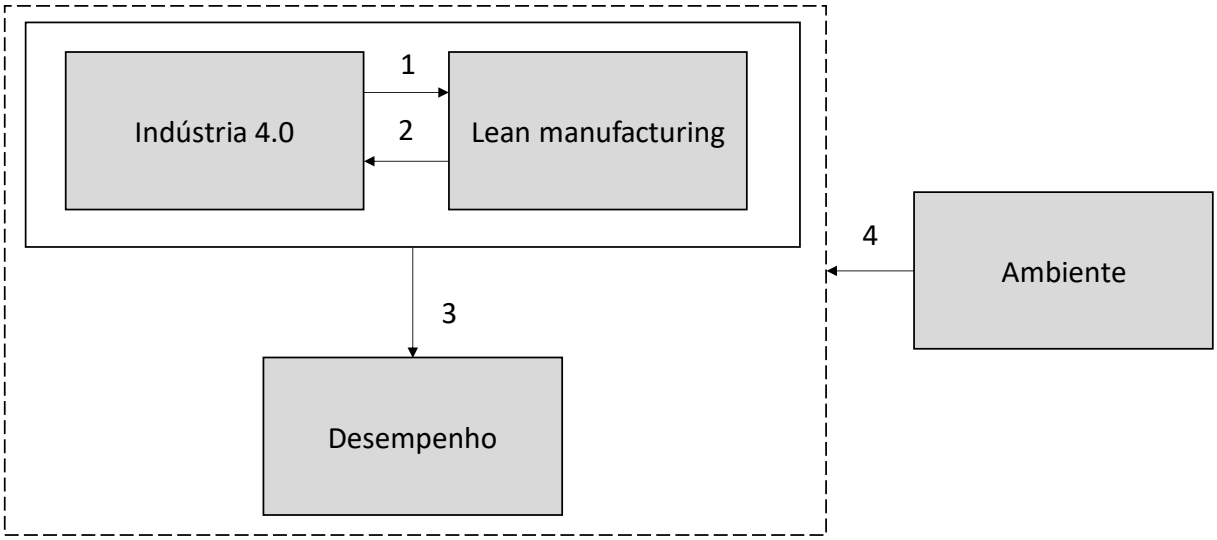
### 2.3.1 Interação entre indústria 4.0 e lean manufacturing

Para o que se refere à interação entre indústria 4.0 e lean manufacturing, ao longo da avaliação da literatura foram identificados alguns tipos de interação que são abordados em seguida.

#### *2.3.1.1 Relacionamentos entre indústria 4.0, lean, desempenho e ambiente*

Com o propósito de estabelecer uma estrutura conceitual, Buer, Strandhagen e Chan (2018) estabeleceram a seguinte relação entre indústria 4.0, lean manufacturing, desempenho e ambiente (Ver Figura 5).

Figura 6 - Conceito: indústria 4.0, lean manufacturing, desempenho e ambiente




Fonte: Autor “adaptado” de Buer, Strandhagen e Chan, 2018

1. Indústria 4.0 suporta lean manufacturing: tecnologias da indústria 4.0 podem suportar e desenvolver práticas lean manufacturing;

2. Lean manufacturing suporta indústria 4.0: sistemas lean manufacturing estabelecidos facilitam a implementação da indústria 4.0;
3. A interação da indústria 4.0 e lean manufacturing modifica a produção e impacta o desempenho;
4. O ambiente influencia a interação da indústria 4.0, lean manufacturing e desempenho.

#### *2.3.1.2 Impacto de indústria 4.0 em lean manufacturing*

Wagner et al. (2017) realizaram uma avaliação junto às empresas sobre impactos de indústria 4.0 em lean manufacturing, com abordagem que associa habilitadores de indústria 4.0 com lean manufacturing (Ver Quadro 2).

Quadro 7 - Matriz de impacto de indústria 4.0 em lean manufacturing

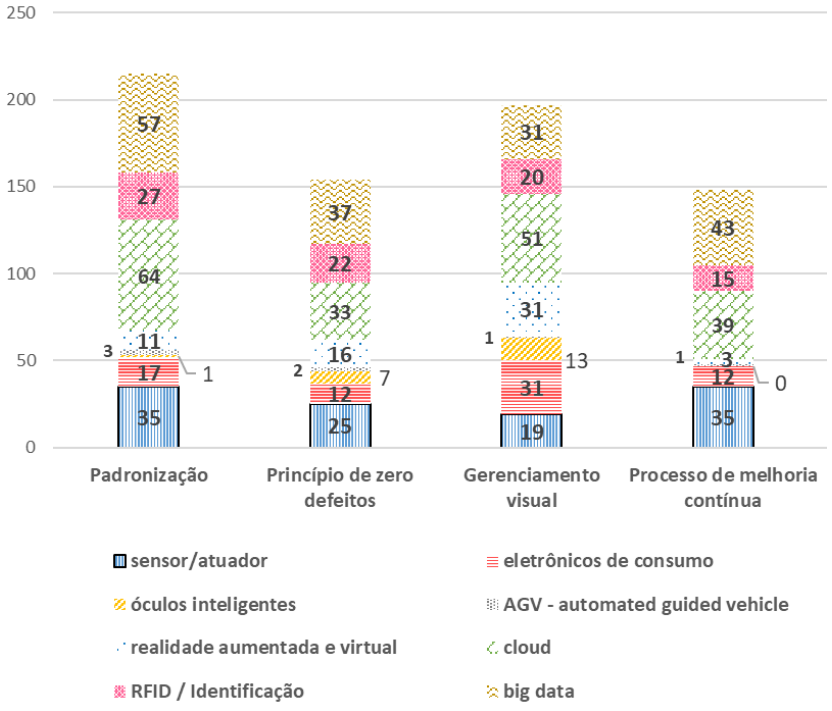
| | Aquisição e processamento de dados | | | | Comunicação máquina maquina (M2M) | | Interação homem-máquina (HMI) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sensores e atuadores | Cloud | Big data | Cálculos analíticos | Vertical integration | Horizontal integration | Realidade virtual | Realidade aumentada |
| 5S | + | + | + | + | + | + | ++ | +++ |
| Kaizen | + | ++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Just-in-Time | ++ | ++ | +++ | +++ | +++ | ++ | + | ++ |
| Jidoka | + | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | + | + |
| Heijunka | ++ | ++ | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | + |
| Padronização | ++ | +++ | +++ | +++ | ++ | ++ | +++ | +++ |
| tempo de tacto | + | + | +++ | +++ | +++ | +++ | + | + |
| Pull flow | ++ | + | + | + | +++ | +++ | + | + |
| Separação homem-máquina | + | + | + | + | + | + | +++ | +++ |
| Pessoas e time de trabalho | + | + | + | + | + | + | +++ | +++ |
| Redução de desperdícios | + | + | ++ | +++ | +++ | +++ | + | + |

Fonte: Autor “adaptado” de Wagner et al., 2017

#### *2.3.1.3 Interdependências de lean manufacturing* e tecnologias de indústria 4.0

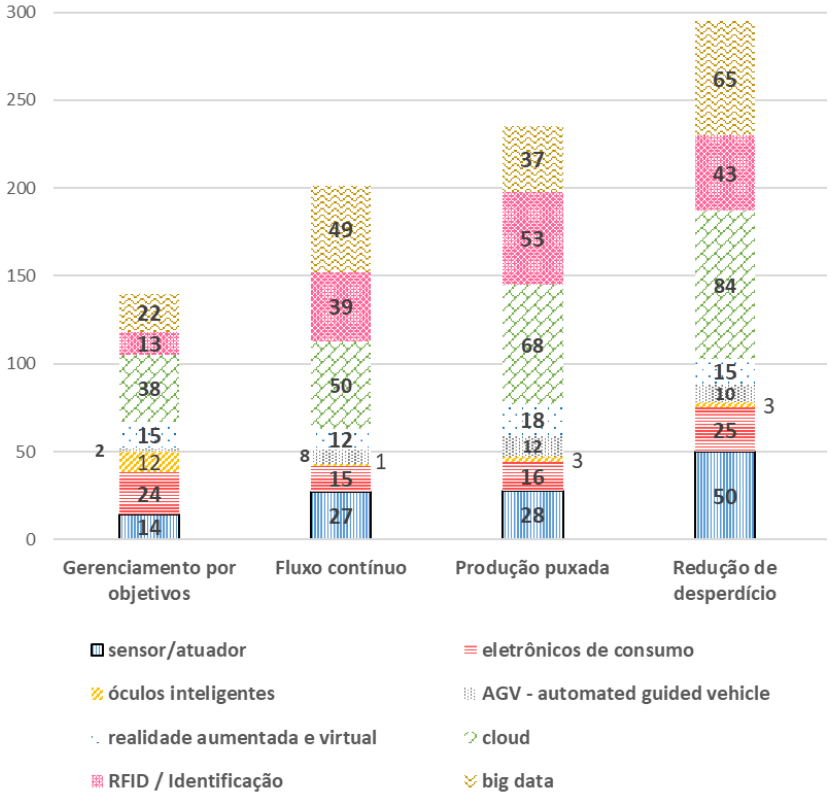
Dombrowski, Richter e Krenkel (2017) realizaram uma avaliação junto às empresas sobre impactos de indústria 4.0 em lean manufacturing, com uma abordagem que associa habilitadores de indústria 4.0 com lean manufacturing. O resultado da avaliação realizada por Dombrowski, Richter e Krenkel (2017) se encontra nas Figuras 6 e 7, onde é possível observar a associação de cada princípio lean manufacturing com cada habilitador de tecnologia de indústria 4.0.

Figura 8 - Interdependências de lean manufacturing e indústria 4.0




Fonte: Autor “adaptado” de Dombrowski, Richter e Krenkel, 2017

Figura 9 - Interdependências de lean manufacturing e indústria 4.0 (conclusão)

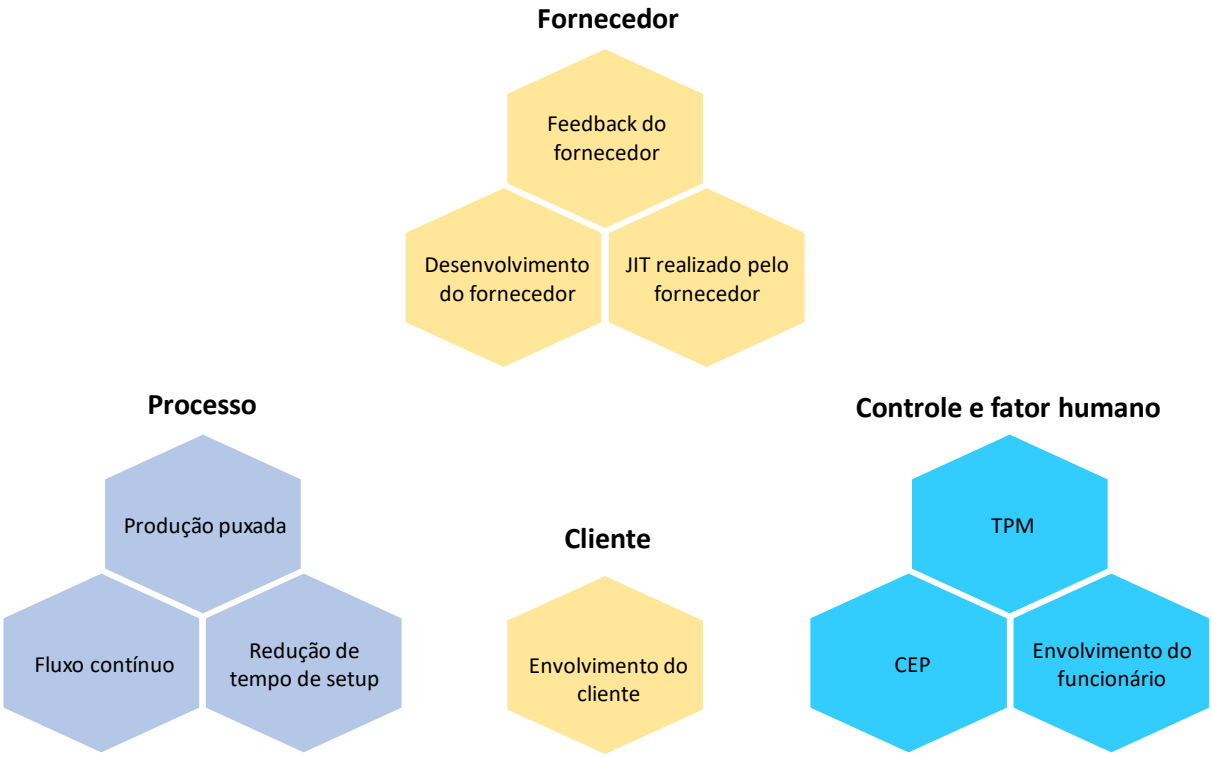



Fonte: Autor “adaptado” de Dombrowski, Richter e Krenkel, 2017

### *2.3.1.4 Dimensões lean manufacturing, fatores, desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0*

Para a interação entre indústria 4.0 e lean manufacturing, Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) consideram dez dimensões lean para a validação de habilitadores de indústria 4.0 agrupados pelos fatores fornecedor, controle e fator humano, cliente e processo (Ver Figura 8).

Figura 10 - Dimensões lean manufacturing agrupadas por fatores




Fonte: Autor "adaptado" de Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, 2016

Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) fazem associações concretas entre as dimensões lean manufacturing e habilitadores da indústria 4.0. Porém, essas associações se limitam a relacionar as dimensões lean manufacturing somente com os habilitadores da indústria 4.0 descritos como cloud, IoT, big data e CPS (Ver Quadro 3).

Quadro 11 - Associação de dimensões lean manufacturing e habilitadores

| Fatores | Dimensões lean manufacturing | Habilitadores de indústria 4.0 |
|---|---|---|
| **Fornecedor** | Fedback do fornecedor | Cloud |
| | Desenvolvimento do fornecedor | Big data |
| | JIT realizado pelo fornecedor | IoT |
| **Processo** | Produção enxuta | CPS |
| | Fluxo contínuo | IoT |
| | Redução de tempo de setup | CPS |
| **Cliente** | Envolvimento do cliente | Big data + IoT |
| **Controle e fator humano** | TPM | Big data + CPS |
| | CEP | Big Data + CPS + IoT |
| | Envolvimento do funcionário | CPS + IoT |

Fonte: Autor "adaptado" de Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, 2016

Ainda, Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) relacionam as dez dimensões lean manufacturing com os desafios lean manufacturing e com as respectivas soluções de indústria 4.0 (Ver Quadro 4), utilizados como base para a elaboração da questão 5 do roteiro de entrevista disponível no Apêndice A.

Quadro 12 - Dimensões lean manufacturing, desafios e soluções

| Dimensões Lean Manufacturing | Desafios para a implementação enxuta a partir da perspectiva de integração | Soluções fornecidas pela Indústria 4.0 |
|---|---|---|
| **Feedback do fornecedor** | Recursos e conhecimentos limitados | Fabricação colaborativa |
| | Diferença nos modelos de negócio, operação e práticas de manutenção de dados | Melhores mecanismos de comunicação |
| | | Sincronização de dados |
| **JIT realizado pelo fornecedor** | Status de remessa de mercadoria incompleta | Identificação de itens |
| | Incompatibilidade na quant. mercadoria | Rastreamento sem fio de mercadorias |
| | Atrasos inesperados durante o transporte | Realocação inteligente de pedido |
| **Desenvolvimento do fornecedor** | Recursos e conhecimentos inadequados | Interfaces padronizadas |
| | Compatibilidade equipam. entre organizações | Organizações virtuais - cooperação sinérgica |
| **Envolvimento do cliente** | Pouca flexibilidade para alteração do produto | Período de congelamento prolongado |
| | Relação entre necessidades e funções | Implementação Qualidade em grande volume |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes | Análise de uso |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimento material |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada |
| **Redução de tempo de setup** | Adaptação processo baseado experiênc. humana | Auto-otimização e aprendizado de máquina |
| | | comunicação da peça em processo |
| **TPM - Total Productive Maintenance** | Nenhum controle de avaria de máquina | Comunicação peça-máquina |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas | Auto avaliação de manutenção |
| | | Controle preditivo de manutenção |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feedback inteligentes |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada |

Fonte: Autor "adaptado" de Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, 2016

Assim, Leyh, Martin e Schaffer (2017) consideram lean manufacturing como um conceito maduro e indústria 4.0 como um tópico emergente, ainda destacam que tecnologias de indústria 4.0 aplicadas em fábrica lean a tornam inteligente e com ações independentes entre peças e equipamentos por meio de comunicação em tempo real. No Quadro 5 lean manufacturing está associado à manufatura hoje e indústria 4.0 está associado à manufatura indústria 4.0.

Quadro 13 - Manufatura de hoje e manufatura indústria 4.0

| | | Manufatura hoje | Manufatura Indústria 4.0 |
|---|---|---|---|
| **Componente** | Principais atributos | Precisão | Ação independente baseada em previsões próprias |
| | Principais tecnologias | Sensores inteligentes e detecção de falhas | Monitoramento de degradação e previsão de vida útil restante |
| **Máquina** | Principais atributos | Produtividade e desempenho (qualidade e rendimento) | Ação independente com base em previsões próprias e comparação com dados de inventário |
| | Principais tecnologias | Monitoramento e diagnóstico baseados em condições | Registro de tempo de operação com monitoramento preditivo de saúde |
| **Sistema de manufatura** | Principais atributos | Produtividade e eficácia geral do equipamento | Configuração, manutenção e organização independentes |
| | Principais tecnologias | Operações lean: redução de trabalho e desperdício | Sistemas de produção auto adaptáveis e de baixa manutenção |

Fonte: Autor "adaptado" de Leyh, Martin e Schaffer, 2017

### 2.3.2. Direcionadores de valor

Buer, Standhagen e Chan (2018) sinalizam que há alterações de desempenho com base nas interações de indústria 4.0 e lean manufacturing. Tortorella e Fettermann (2017) indicam com base em avaliações que lean manufacturing é positivamente associado com indústria 4.0 e que a implementação de ambos em conjunto é conduzida para o incremento de performance. Desta forma, ao longo deste trabalho são utilizados os seguintes direcionadores de valor considerados por Karre et al (2017):

1. Utilização de ativos;
2. Inventário;
3. Recursos e processos;
4. Combinação de oferta e demanda;
5. Mão-de-obra;
6. Qualidade;
7. Serviço pós venda e
8. Time-to-market, que é o tempo entre concepção do produto e início de venda.

### 2.3.3 Motivações e barreiras

Entende-se que as motivações e barreiras de lean manufacturing e indústria 4.0 podem ser continuadas a partir das motivações e barreiras indicadas para a indústria 4.0, que são encontradas com frequência na literatura e tomando como base que as tecnologias da indústria 4.0 compõem a inovação e que o lean manufacturing é existente e se encontra em estágio de maturidade avançado.

#### *2.3.3.1 Motivações*

Assim, de acordo com Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), em essência a indústria 4.0 tem implicações na criação de valor, modelos de negócios, serviços e organização do trabalho e também um enorme potencial conforme a seguir: atendimento aos requisitos individuais do cliente; flexibilidade; tomada de decisão otimizada; produtividade e eficiência de recursos; criação de oportunidades de valor através de novos serviços; mudanças demográficas no trabalho; equilíbrio entre trabalho e vida privada; uma economia de altos salários e competitiva. Dalenogare et al. (2018) relacionam 14 tópicos como motivações associadas a desempenho com a implementação de tecnologias da indústria 4.0 para empresas localizadas no Brasil:

1. Melhoria da customização do produto;
2. Otimização de automação de processos;
3. Aumento de eficiência energética;
4. Melhoria de qualidade do produto;
5. Melhoria do processo de tomada de decisão;
6. Redução de custos operacionais;
7. Aumento da produtividade;
8. Aumento da segurança do trabalhador;
9. Criação de novos modelos de negócios;
10. Redução de tempo do lançamento do produto;
11. Melhoria da sustentabilidade;
12. Aumento da visualização e controle de processos;
13. Redução de reclamações trabalhistas;
14. Compensação de falta de trabalhador qualificado.

Küsters, Praß e Gloy (2017) declararam que a maioria das empresas hesita em iniciar seus processos de transformação digital devido às barreiras de implementação como incertezas quanto a benefícios financeiros e falta de conhecimento especializado. McKinsey&Company

(2013) afirmaram haver diferentes barreiras entre empresas não avançadas e empresas avançadas para o que se referente à implementação da indústria 4.0. Adicionalmente, Horvath e Szabo (2019) indicaram que o risco de fragilidade pode ser um tipo de barreira. Rossini et al. (2019) afirmaram que a implementação integrada de indústria 4.0 e lean manufacturing pode permitir que empresas superem barreiras tradicionais de transformação lean, mas por outro lado consideram que soluções customizadas lean podem entrar em conflito com a alta tecnologia e os altos investimentos relacionados à indústria 4.0.

De acordo com Moeuf et al. (2018), a indústria 4.0 traz inovações na gestão industrial por meio de tecnologias flexíveis e de menor custo que sistemas convencionais. Lasi et al. (2014) acreditam ser possível a fabricação de produtos individuais em lote em conjunto com condições econômicas de produção em massa.

#### *2.3.3.2 Barreiras*

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) concluíram que implementar a indústria 4.0 envolve a evolução do processo que progride a taxas diferentes em cada empresa e setor e definiram como barreiras para implementação da indústria 4.0 os seguintes pontos em ordem de relevância: padronização; processo e organização do trabalho; disponibilidade de produto; novos modelos de negócios; know-how de proteção e segurança; falta de pessoal especializado; pesquisa, treinamento e desenvolvimento profissional contínuo e estrutura regulatória. Em pesquisa realizada pela CNI (2016) com 2.225 empresas, para o que se refere à indústria 4.0 foram indicadas as seguintes barreiras internas:

1. Alto custo de implementação;
2. Falta de clareza na definição do retorno de investimento;
3. Estrutura coorporativa e cultura;
4. Dificuldade em integrar novas tecnologias e softwares;
5. Estrutura inapropriada de tecnologia da informação;
6. Riscos de segurança da informação.

Além da indicação das barreiras internas, foram também indicadas as seguintes barreiras externas, a seguir:

1. Falta de trabalhador qualificado;
2. Infraestrutura de telecomunicações do país insuficiente;
3. Dificuldade para identificar tecnologias e parceiros;
4. Ausência de linhas de financiamento apropriadas;

5. O mercado ainda não está preparado (clientes e fornecedores);
6. Falta de normalização técnica;
7. Regulação inadequada.

# 3 METODOLOGIA

Seguindo definições de Miguel (2007), este trabalho é classificado como pesquisa de natureza exploratória, utiliza uma abordagem qualitativa por meio do método de pesquisa estudo de caso. O estudo de caso é um estudo empírico, contemporâneo e considera que as fronteiras entre fenômeno e contexto ainda não estão claramente definidas (MIGUEL; 2007).

Este capítulo é composto por seis etapas, sendo elas: 1) revisão sistemática de literatura; 2) análise das publicações; 3) análise das citações; 4) pesquisa de campo; 5) protocolo de pesquisa e coleta de dados; 6) análise dos dados.

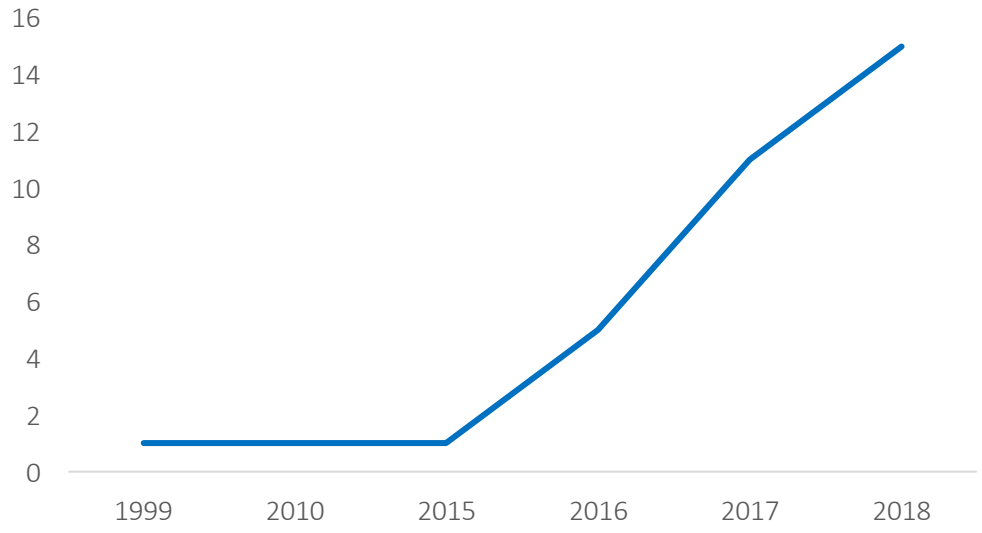
## 3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Como justificativa para a elaboração deste trabalho, foi realizada uma busca na base de dados Web of Science, em novembro de 2018, com a utilização dos tópicos ("lean manufacturing" or "lean production" or "lean management" or "Toyota production system" or "manufacturing management" or lean) AND ("4.0 industry" or "industry 4.0" or "advanced manufacturing" or "digital revolution" or "smart manufacturing" or "internet of things" or "cyber physical system" or "cyber physical production system" or "cyber-physical system" or "cyber-physical production system" or "cyber-physical systems" or "cyber-physical production systems"). Foi realizado o filtro que seleciona apenas os artigos, o que totalizou uma amostra de 34 artigos publicados entre 1999 e 2018.

## 3.2 ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES

Inicialmente foi realizada a análise de publicações por ano (Ver Figura 9). Apesar de a primeira publicação ser de 1999, apenas a partir de 2015 houve um aumento crescente de artigos publicados relacionando os conceitos da manufatura enxuta e da quarta revolução industrial. O artigo Mitchell (1999) abordou o desenvolvimento urbano no contexto das transformações tecnológicas da época. Já o artigo Zuehlke (2010) abordou o contexto de fábricas inteligentes, bem alinhado com o que esta pesquisa busca compreender.

Figura 14 - Publicações por ano




Fonte: Autor

O Quadro 6 apresenta as publicações por periódico e ano. Verifica-se que não há uma concentração de publicações em periódicos específicos. Os 34 artigos foram publicados em 28 periódicos, o que reforça a multidisciplinaridade dos temas. Apenas três periódicos publicaram mais do que um artigo, sendo eles: International Journal of Production Research (JCR=2.623), Automation in Construction (JCR = 4.032) e Fujitsu Scientific & Technical Journal (JCR= 0.176).

O periódico International Journal of Production Research concentra publicações relacionadas principalmente aos temas gestão da inovação, desenvolvimento de produtos, bem como processos de manufatura e logística. Já o periódico Automation in Construction tem um foco maior em tecnologia da informação e todo o ciclo de vida da construção de estruturas de engenharia. Por fim, o periódico Fujitsu Scientific & Technical Journal foca em pesquisas relacionadas com tecnologias, produtos, serviços e atividades relacionadas à pesquisa e desenvolvimento.

Quadro 15 - Publicações por periódico e ano

| Periódicos | Ano | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1999 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
| International Journal of Production Research | | | | | 1 | 4 | 5 |
| Automation in Construction | | | | 1 | | 1 | 2 |
| Fujitsu Scientific & Technical Journal | | | | | 2 | | 2 |
| Ad Hoc Networks | | | | | | 1 | 1 |
| Annual Reviews in Control | | 1 | | | | | 1 |
| Architectural Record | 1 | | | | | | 1 |
| Atp Edition | | | | | 1 | | 1 |
| Benchmarking | | | | | | 1 | 1 |
| Drvna Industrija | | | | | | 1 | 1 |
| European Journal of Pharmaceutical Sciences | | | | 1 | | | 1 |
| Future Generation Computer Systems | | | | | 1 | | 1 |
| Ieee Internet of Things Journal | | | | | 1 | | 1 |
| IEEETransactions on Industrial Informatics | | | | 1 | | | 1 |
| IEICE Transactions on Electronics | | | | | | 1 | 1 |
| International Journal of Intelligent Systems | | | | | 1 | | 1 |
| International Journal on Semantic Web and Information Systems | | | | | 1 | | 1 |
| Journal of Engineering Manufacture | | | | | | 1 | 1 |
| Journal of Industrial and Production Engineering | | | | 1 | | | 1 |
| Journal of Industrial Engineering and Management | | | | | 1 | | 1 |
| Journal of Information Security And Applications | | | | | 1 | | 1 |
| Journal of Information Technology in Construction | | | | | | 1 | 1 |
| Journal of Manufacturing Technology Management | | | | | | 1 | 1 |
| Logforum | | | | | | 1 | 1 |
| Sensors | | | | | 1 | | 1 |
| Sustainability | | | | | | 1 | 1 |
| Technisches Messen | | | | 1 | | | 1 |
| Tehnicki Vjesnik | | | 1 | | | | 1 |
| Wireless Personal Communications | | | | | | 1 | 1 |

Fonte: Autor

## 3.3 ANÁLISE DAS CITAÇÕES

O Quadro 7 apresenta os dez artigos mais citados, considerando os que receberam ao menos duas citações. O baixo número de artigos com muitas citações se justifica pelo fato de a maior parte das publicações ser recente (últimos três anos). As pesquisas precisam de tempo para serem amplamente acessadas e citadas. Estes dez artigos concentram aproximadamente 97% do total de 245 citações dos 34 artigos da amostra.

Quadro 16 - Artigos mais citados

| Artigo | Título | Periódico |
|---|---|---|
| Zuehlke (2010) | SmartFactory-Towards a factory-of-things | Annual Reviews in Control |
| Dave et al. (2016) | Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards | Automation in Construction |
| Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) | Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing | Journal of Industrial Engineering and Management |
| Kolberg, Knobloch e Zuhlke (2017) | Towards a lean automation interface for workstations | International Journal of Production Research |
| Rathore et al. (2017) | IoT-Based Big Data: From Smart City towards Next Generation Super City Planning | International Journal on Semantic Web and Information Systems |
| Chen e Lin (2017) | Feasibility Evaluation and Optimization of a Smart Manufacturing System Based on 3D Printing: A Review | International Journal of Intelligent Systems |
| Yin, Stecke e Li (2018) | The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0 | International Journal of Production Research |
| Veza, Mladineo e Gjeldum (2016) | Selection of the basic lean tools for development of Croatian model of innovative smart enterprise | Tehnicki Vjesnik |
| Vogli et al. (2018) | Fast network joining algorithms in industrial IEEE 802.15.4 deployments | Ad Hoc Networks |
| Wang et al. (2016) | Large-Scale Online Multitask Learning and Decision Making for Flexible Manufacturing | IEEE Transactions on Industrial Informatics |

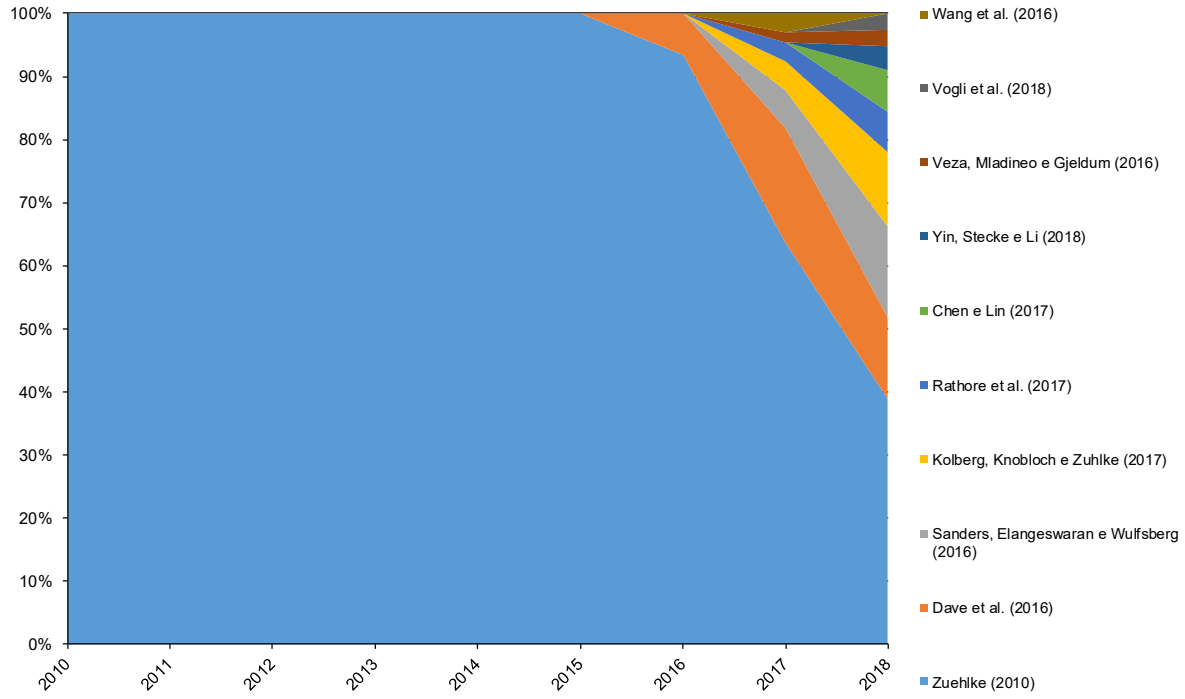
Fonte: Autor

A Figura 10 mostra a evolução das citações dos dez artigos mais citados. Entre 2010 e 2015 apenas o artigo Zuehlke (2010) foi citado, o qual já abordou em 2010 a questão da necessidade do uso de tecnologias para a transformação do processo produtivo (smart factory). Ainda de acordo com a mesma pesquisa, muitas das tecnologias já disponíveis na época para usuários comuns, ainda não eram possíveis de serem utilizadas na indústria. Em 2016, Dave et al. (2016) também passou a ser citado. Esta pesquisa foi uma das pioneiras a relacionar os conceitos lean e internet das coisas no ciclo de vida da construção.

Em 2017, mais cinco artigos também receberam citações: Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), que analisaram a ligação entre o conceito lean manufacturing (manufatura enxuta), já amplamente disseminado como uma metodologia que melhora a produtividade e indústria 4.0, que traz o conceito da fábrica inteligente; Kolberg, Knobloch e Zuhlke (2017), que discutiram o conceito lean automation (automação lean) que aplica as tecnologias disponíveis na indústria 4.0 nos métodos de produção enxuta; Rathore et al. (2017), que expande o conceito de smart city (cidade inteligente) para super city planning (cidade super planejada) considerando tecnologias como internet das coisas e big data; Veza, Mladineo e Gjeldum (2016), que trabalharam seis ferramentas da manufatura enxuta no desenvolvimento de um modelo de inteligência inovador para as empresas na Croácia; e Wang et al. (2016), que

propuseram uma ferramenta de aprendizado e de tomada de decisões em larga escala nas empresas.

Figura 17 - Evolução das citações (10 artigos mais citados)

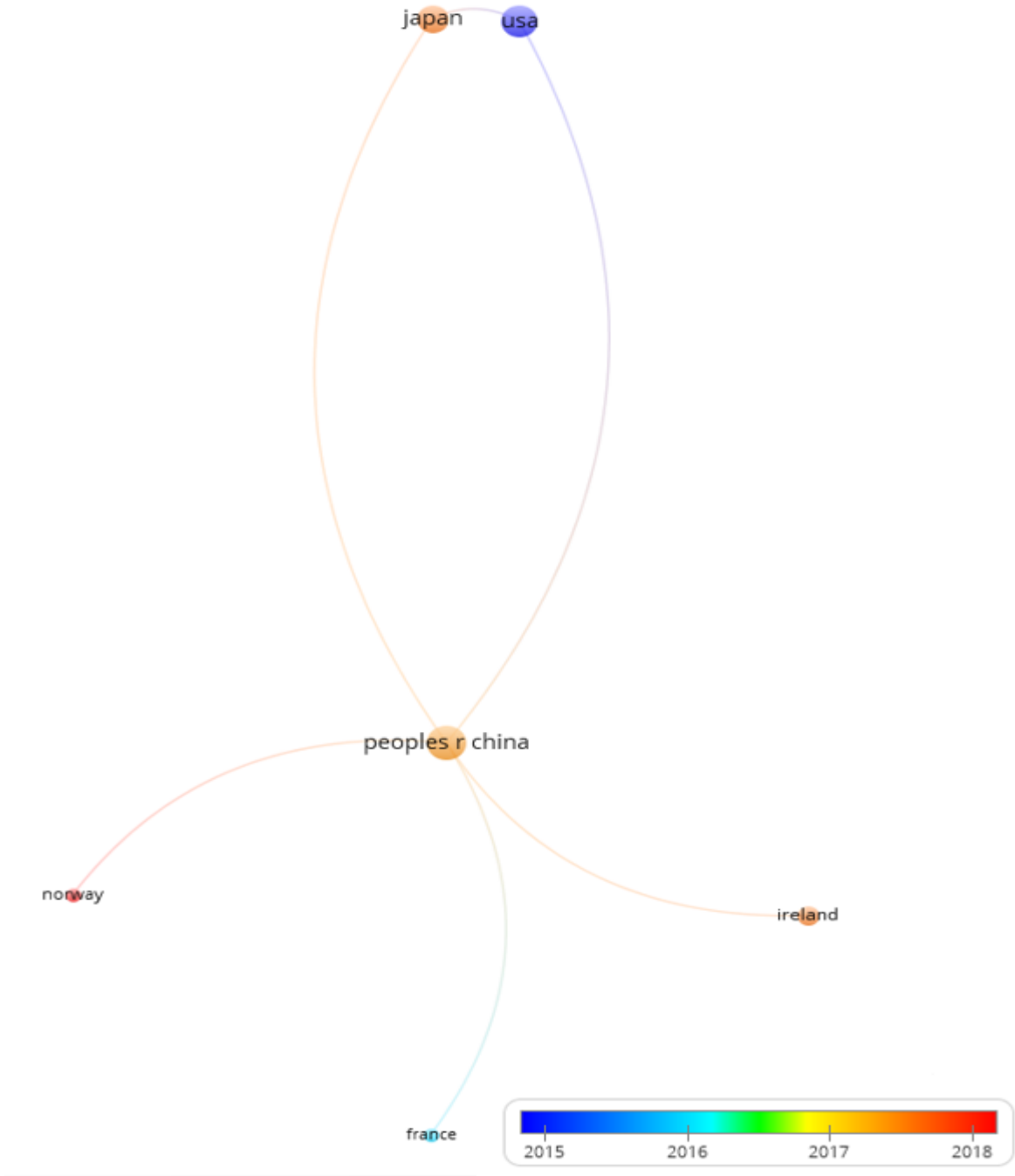



Fonte: Autor

Por fim, em 2018, mais três artigos também receberam citações: Chen e Lin (2017), cuja pesquisa analisou os principais fatores relacionados com a viabilidade da impressão 3D num sistema de manufatura inteligente; Yin, Stecke e Li (2018), que trataram a evolução dos sistemas de produção da indústria 2.0 para a indústria 4.0; Vogli et al. (2018), que exploraram algoritmos na indústria.

A amostra obtida com 34 artigos foi exportada da base Web of Science e importada no software Vosviewer. A Figura 11 apresenta a rede de publicações em coautoria (países). Apenas seis países aparecem trabalhando em colaboração, sendo eles Noruega, Irlanda, Japão, Estados Unidos, França e China, o único país que possui relação com todos os demais na rede.

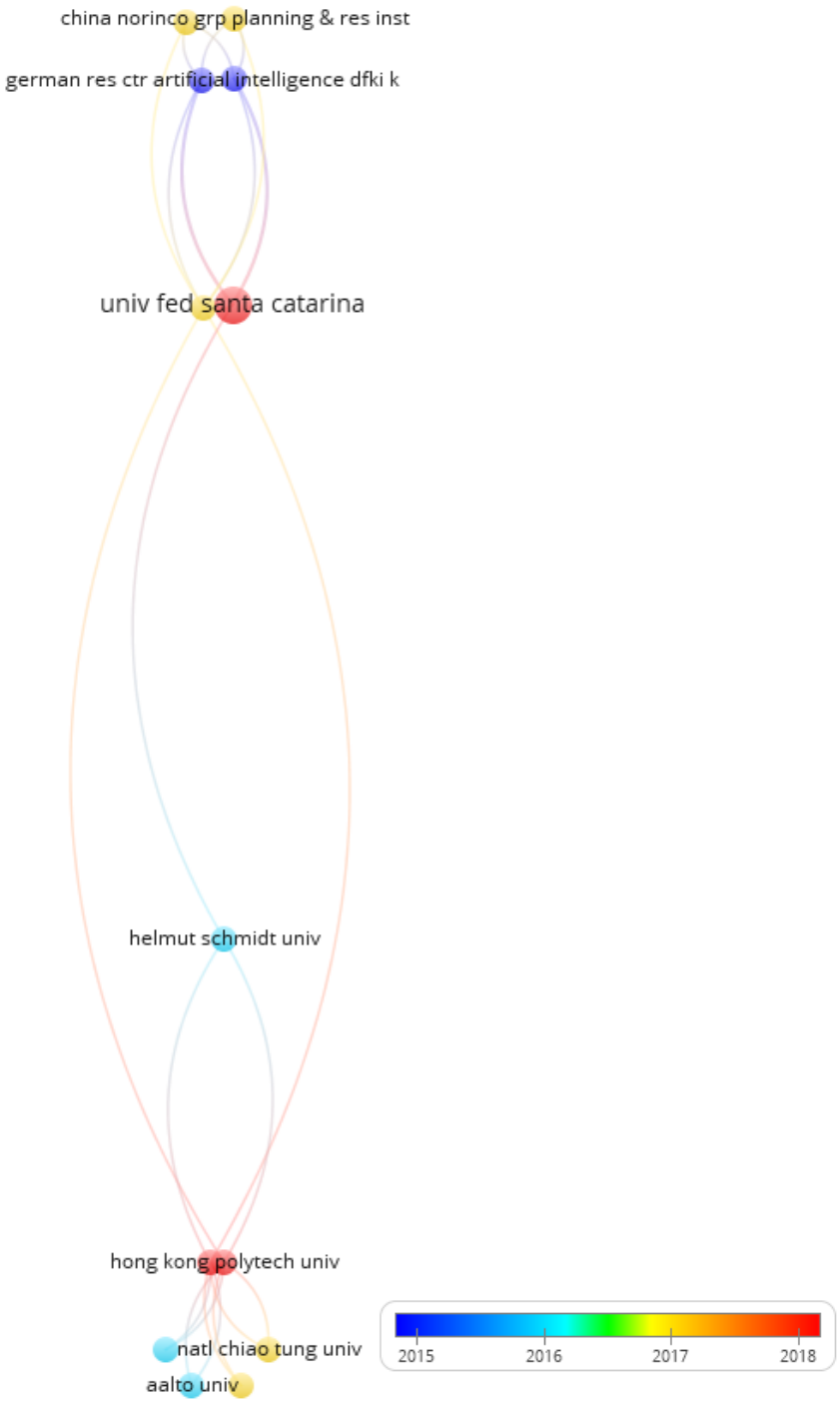
Figura 18 - Publicações em coautoria (países)




Fonte: Autor

Já na Figura 12 tem-se a rede de citações (organizações). Apesar de o Brasil não aparecer na rede de publicações em coautoria (países), A Universidade Federal de Santa Catarina aparece em destaque na rede de citações, inclusive na análise cronológica com pesquisas recentes.

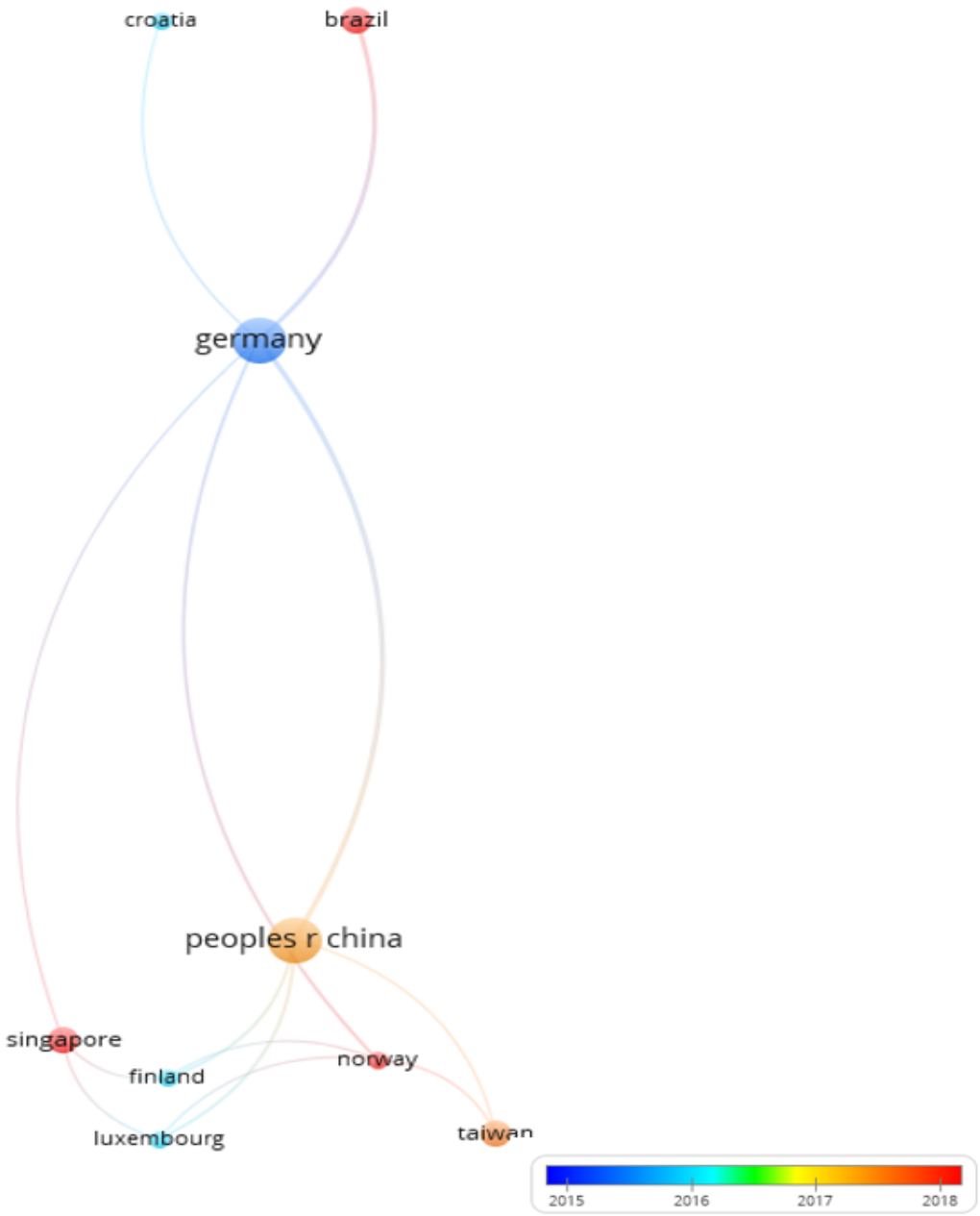
Figura 19 - Rede de citações (organizações)




Fonte: Autor

A Figura 13 apresenta a rede de citações (países) e nesta sim o Brasil aparece, apesar de citando e sendo citado apenas pela Alemanha. Alemanha e China são os países mais citados nesta amostra.

Figura 20 - Rede de citações (países)

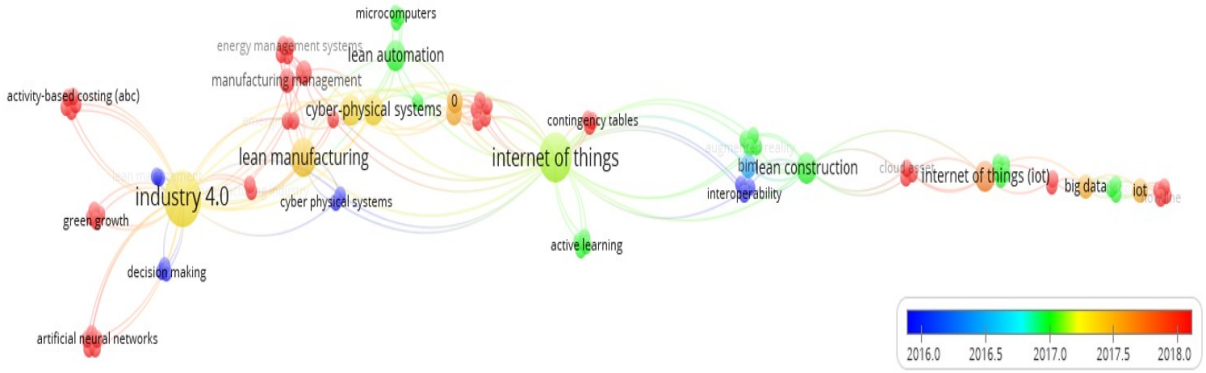



Fonte: Autor

A Figura 14 apresenta a rede de ocorrência de palavras-chave. No grupo de palavras relacionadas com o termo “lean manufacturing” apareceram palavras específicas como “lean constructos”, “lean automation” e “manufacturing management”. Com relação ao grupo de palavras relacionadas com o termo “industry 4.0”, três variações de uma mesma palavra aparecem de maneira muito similar, sendo elas “internet of things”, “internet of things (iot) e “iot”, o que reforça a necessidade de compreender bem quais palavras chaves devem ser consideradas no início de um trabalho de revisão sistemática de literatura. As palavras mais

recentes têm relação com indústria 4.0, o que já era esperado pelo fato de se tratar de um tema ainda muito recente.

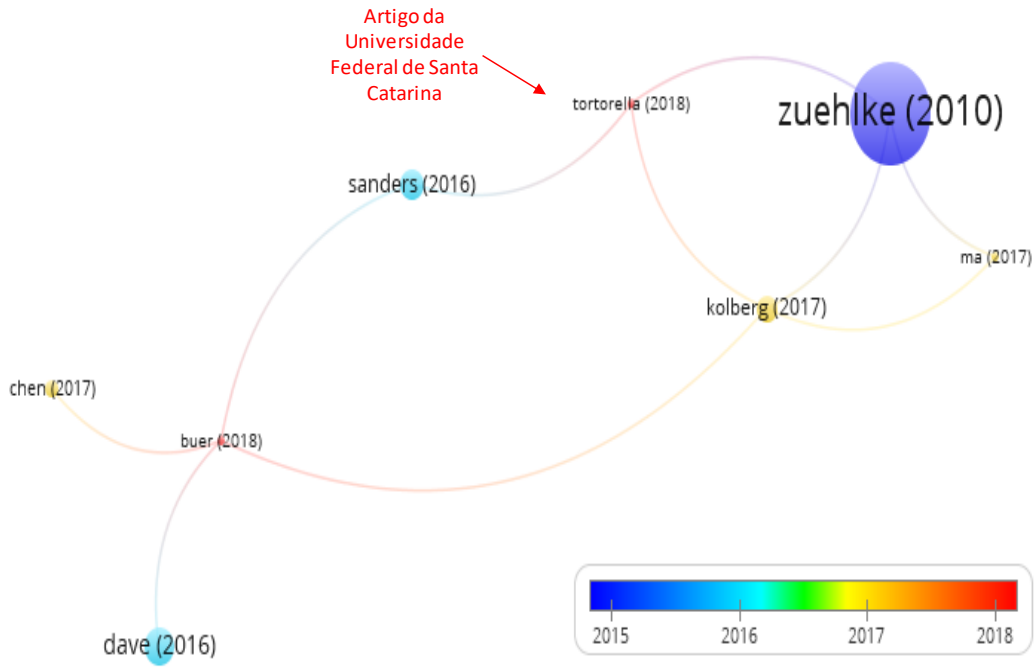
Figura 21 - Rede de ocorrência de palavras-chave




Fonte: Autor

Na Figura 15 é possível visualizar a rede de citações de artigos.

Figura 22 - Rede de citações (artigos)




Fonte: Autor

O artigo Zuehlke (2010) novamente aparece em destaque, sendo uma referência até hoje por ter sido um dos pioneiros na visão da fábrica inteligente. Três artigos desta rede não

apareceram anteriormente na lista de artigos mais citados, sendo eles Ma, Wang e Zhao (2017), que trataram o conceito “smart lean automation”; Tortorella e Fetterman (2018), que analisaram justamente a implementação da manufatura enxuta e da indústria 4.0 em empresas brasileiras; Buer, Standhagen e Chan (2018), que pesquisaram a relação entre manufatura enxuta e indústria 4.0.

A bibliometria permitiu analisar a literatura de produção enxuta e indústria 4.0. É possível fazer uma análise cronológica da literatura que teve início com publicações relacionadas à definição dos principais conceitos da manufatura enxuta, já amplamente aplicados na indústria tradicional com o objetivo principal de reduzir desperdícios. Na década de 2010 o termo indústria 4.0 surgiu e a literatura começou a tratar o tema como a quarta revolução industrial justamente pelas transformações dos processos produtivos.

Surge na sequência o interesse de acadêmicos e gestores de compreenderem a relação entre os conceitos e ferramentas da produção enxuta no contexto da indústria 4.0. A amostra desta pesquisa identificou que as publicações relacionando os dois temas surgiram a partir de 2015 e avançam num crescente de novas publicações. Não há uma concentração de publicações em periódicos específicos, mas sim um certo direcionamento para periódicos que tratam de engenharia, processos de manufatura, automação, tecnologia da informação, entre outras áreas.

O conceito lean automation surge na literatura e trata justamente da aplicação das tecnologias da indústria 4.0 em ambientes de produção enxuta. Nota-se um interesse nas pesquisas de identificarem os fatores motivadores da inserção das empresas no ambiente 4.0; as fases e processos envolvidos para a implementação da indústria 4.0; as tecnologias envolvidas; as principais barreiras de implementação; a relação direta entre implementação e aumento da produtividade; identificação e análise dos melhores indicadores de desempenho; etc.

Alemanha e China assumem a liderança em termos de publicações e citações de artigos acadêmicos. O Brasil aparece com pesquisas recentes e relevantes também. A rede de palavras-chave mostra uma série de palavras similares para o mesmo termo, o que dificulta um pouco a varredura da literatura, uma vez que o número de publicações ainda é relativamente pequeno. Por outro lado, por ser um tema atual e relevante, existem lacunas na literatura que surgem como oportunidades de pesquisas empíricas, o que reforçou a motivação desta pesquisa.

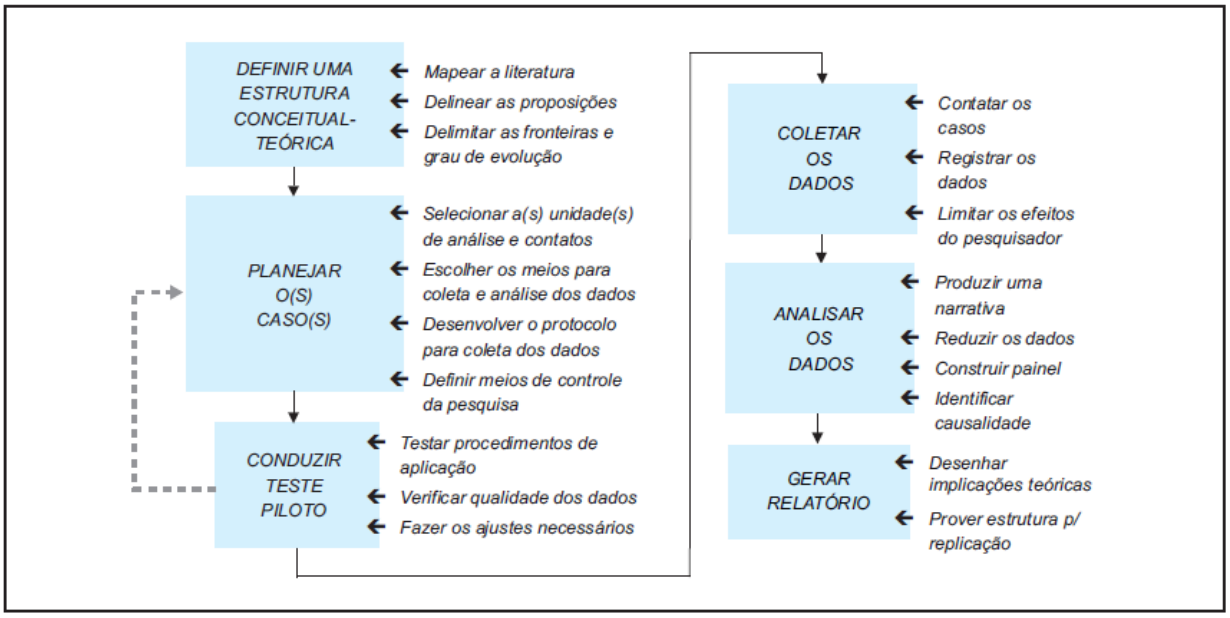
## 3.4 PESQUISA DE CAMPO

O processo de pesquisa avança, aprimora e enriquece o conhecimento existente (MIGUEL, 2010). Os métodos de investigação são pilares na elaboração de estudos que incluem e não se limitam à coleta, análise e interpretação de dados (YIN, 2005).

O estudo de caso é a análise profunda de um ou mais casos com a adoção de instrumento de coleta de dados e interação entre pesquisador e objeto de pesquisa, de forma empírica através da investigação de problemas de um contexto real (MIGUEL, 2010). Conforme Eisenhardt (1989), o estudo de caso enfoca o entendimento da dinâmica de um contexto.

Para atender ao objetivo deste trabalho, foi adotado o método empírico de estudo de casos com abordagem qualitativa. O Quadro 8 apresenta as etapas para o desenvolvimento de estudo de caso.

Quadro 23 - Etapas do desenvolvimento do estudo de caso




Fonte: Miguel, 2007

### 3.4.1 Seleção dos estudos de casos

A seleção de empresas para a realização dos estudos de casos se deu por conveniência de forma não aleatória, levando-se em conta a acessibilidade por parte do pesquisador e com base nas declarações por parte dos informantes principais das empresas consultadas quanto à afirmação da existência de implementação tanto de indústria 4.0 quanto de lean manufacturing em sua operação. Foram selecionadas quatro empresas e com o objetivo de manter sigilo e

imparcialidade na avaliação as mesmas foram caracterizadas com os nomes RET, AUT, EMB e CO cujos detalhes se dão na seção 4.

### 3.4.2 Análise dos dados

Em avaliação às referências bibliográficas, foi encontrado que Piening (2014) utilizou a escala de avaliação de baixa, média e alta na classificação realizada por funcionários sobre determinadas ações nas respectivas empresas em que trabalhavam, que foi tida como satisfatória e aderente ao desenvolvimento deste trabalho. Ainda, Wagner et al. (2017) usa a classificação de impactos por meio do código de validação "+", sendo que "+" significa baixo impacto, "++" significa impacto intermediário ou médio impacto e "+++" como o nível de impacto mais alto ou alto impacto, que foi adotada para as avaliações dos estudos de caso. Para facilitar a visualização, foram associadas cores aos códigos de validação, da seguinte forma: vermelho associado à classificação de baixo impacto, amarelo à de médio impacto e verde à de alto impacto, quando o campo estiver em branco o impacto é nulo ou a avaliação não é aplicável. Desta forma, no Quadro 12 é apresentado o formado da classificação utilizado ao longo deste trabalho.

Quadro 24 - Classificação de ocorrências

| | |
|---|---|
| | nulo ou nula ou não aplicável |
| + | baixo ou baixa |
| ++ | médio ou média |
| +++ | alto ou alta |

Fonte: Autor

Assim, as informações obtidas durante as entrevistas realizadas junto às empresas com base no roteiro de entrevista (ver Apêndice A), tiveram sua avaliação conforme nível de impacto ou de aderência para cada ocorrência encontrada.

Posteriormente, com base no resultado de cada empresa, foi realizada a análise cruzada dos estudos de caso para cada fator de pesquisa e assim provido o subsídio necessário para a interpretação dos resultados sobre interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing.

#### *3.4.2.1 Recorte*

O recorte é um recurso utilizado para delinear os dados relevantes para o estudo de caso e evita que definições preliminares errôneas, desta forma os dados relevantes para os estudos de caso são obtidos junto às próprias empresas. Com base no recorte, a avaliação detalhada é realizada considerando as informações relevantes e as informações que não são relevantes são descartadas, o que permite uma avaliação focada e produtiva. Para facilitar a visualização, os dados relevantes são destacados com uma borda espessa azul nos quadros.

### 3.4.3 Avaliação de nível de implementação de lean manufacturing e indústria 4.0

Foi avaliado o nível de implementação de lean manufacturing, cuja classificação das empresas se deu conforme seção 3.6. Levou-se em conta a implementação de forma robusta, operacional e em funcionamento. Informações sobre planejamentos futuros de implementação de ambos ou de históricos de funcionamento que não mais se encontram em operação, apesar de obtidas, não estão consideradas ao longo deste trabalho, porém inserções oportunas podem acontecer. O Quadro 9 apresenta o resultado obtido para o conjunto de empresas objeto da realização dos estudos de caso.

Quadro 25 - Nível de implementação de lean manufacturing nas empresas

| princípio Lean Manufacturing | RET | AUT | EMB | CO |
|---|---|---|---|---|
| Cultura Toyota 4P | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Gerenciamento visual | +++ | ++ | +++ | +++ |
| Processos estáveis e padronizados | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Produção nivelada ou heijunka | +++ | +++ | +++ | ++ |
| Just in Time - JIT | ++ | + | + | ++ |
| Autonomação ou jidoka | ++ | + | + | ++ |
| Pessoas e equipe de trabalho | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Redução das perdas ou redução de desperdícios | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Melhoria contínua ou kaizen | +++ | +++ | ++ | +++ |

| | |
|---|---|
| | nulo ou nula ou não aplicável |
| + | baixo ou baixa |
| ++ | médio ou média |
| +++ | alto ou alta |

Fonte: Autor

Observa-se que a empresa RET atende em grande número e escala a implementação de lean manufacturing, com dois princípios de médio impacto e sete como de alto impacto, o que é tido como satisfatório. Para a empresa AUT foram constatados dois princípios de baixo impacto, um de médio impacto e seis como de alto impacto, o que também é tido como satisfatório. Para a empresa EMB, foram identificados dois princípios com baixo impacto, quatro com médio impacto e três com alto impacto, o que classifica a empresa EMB perante as já avaliadas como mediana, porém que não é descartada sua participação como estudo de caso e é tida como satisfatória. A empresa CO é dotada de três princípios com médio impacto e seis de alto impacto, o que caracteriza a empresa como satisfatória.

Portanto, apesar de variações de impacto de implementação de lean manufacturing, todas as empresas apresentadas são tidas como satisfatórias e seguem como classificadas para a avaliação dos estudos de casos.

Assim como feito para lean manufacturing, também foi avaliado o nível de implementação de indústria 4.0, considerando o mesmo critério de classificação e premissas apresentadas, cujo resultado obtido para o conjunto de empresas se encontra apresentado conforme Quadro 10.

Quadro 26 - Nível de implementação de indústria 4.0 nas empresas

| **habilitador de Indústria 4.0** | **RET** | **AUT** | **EMB** | **CO** |
|---|---|---|---|---|
| IoT - Internet of Things | ++ | + | ++ | +++ |
| CPS - Cyber Physical Systems | ++ | + | ++ | +++ |
| Cloud - Nuvem | ++ | | ++ | +++ |
| Big Data | | | ++ | +++ |
| Inteligência Artificial | | | | |
| Robotização | ++ | +++ | +++ | +++ |
| Manufatura Aditiva | | ++ | | +++ |
| Simulação | ++ | +++ | ++ | +++ |
| Tecnologias Digitais | | ++ | | ++ |

| | |
|---|---|
| | nulo ou nula ou não aplicável |
| + | baixo ou baixa |
| ++ | médio ou média |
| +++ | alto ou alta |

Fonte: Autor

Ao longo das avaliações do nível de implementação de habilitadores de indústria 4.0 junto às empresas, é esperada uma flutuação quanto à quantidade de implementação de habilitadores assim como de seu impacto de implementação, o que pode ser de interesse para a caracterização de interação com lean manufacturing. Empresas com a implementação de três habilitadores de indústria 4.0 ou menos são diretamente descartadas.

Para a empresa RET, foi constatada a implementação com um habilitador de indústria 4.0 com baixo impacto, 4 com médio impacto e quatro como nulos, observando-se de forma detalhada que os habilitadores estão bem distribuídos entre habilitadores sofisticados como IoT, CPS e cloud e habilitadores menos sofisticados como robotização e simulação, o que passa a ser uma característica interessante da empresa RET a ser explorada e a classifica como satisfatória como estudo de caso. A empresa AUT apresenta implementação de baixo impacto para dois habilitadores, de médio impacto para dois, de alto impacto para dois e três habilitadores como não implementados, o que caracteriza a empresa como satisfatória. A empresa EMB apresenta cinco habilitadores de médio impacto, um de alto e três nulos, portanto, a empresa é satisfatória. A empresa CO se destaca pela implementação de 8 habilitadores de indústria 4.0 de alto impacto e por um nulo, sendo esta também uma empresa satisfatória.

Apesar das variações de impacto de implementação de habilitadores de indústria 4.0, todas as empresas apresentadas são tidas como satisfatórias e seguem como classificadas para a avaliação dos estudos de casos.

Assim, todas as empresas foram classificadas como satisfatórias tanto para o que se refere à implementação de lean manufacturing como para a implementação de habilitadores de indústria 4.0.

### 3.4.4 Teste piloto

Conforme Miguel (2007), é importante a condução de um teste piloto com a finalidade de verificar a aplicação do protocolo de pesquisa e visa seu aprimoramento.

O teste piloto foi realizado junto à um profissional com conhecimento em lean manufacturing e indústria 4.0, tomando como base o roteiro de entrevista semiestruturado ora aperfeiçoado e disponível no Apêndice A.

### 3.4.5 Realização dos estudos de caso exploratórios

A realização dos estudos de caso exploratórios se deu em todas as empresas selecionadas, tomando como base o roteiro de entrevista (Ver Anexo A) e demais recursos descritos como protocolo de pesquisa.

Para tanto, foram consideradas a elaboração de questões e de interpretação de respostas adequadas, ser um bom ouvinte e sem preconceito, bom embasamento teórico, recepção e sensibilidade às evidências contraditórias, adaptação e flexibilidade à novas situações ou às situações não previstas (MIGUEL, 2007).

## 3.5 PROTOCOLO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS

De acordo com Miguel (2007), um protocolo de pesquisa inclui três partes: o contexto da pesquisa, o tema investigado e variáveis. Miguel (2011) descreve que coleta de dados é um evento em que dados são gerados por meio do envolvimento com a organização cujos meios, para o caso de pesquisa qualitativa, são entrevistas, análise de documentos e observações diretas.

Desta forma, a condução deste trabalho para coleta de dados se baseou no contato com as empresas sobre indústria 4.0 e lean manufacturing com base em visitas, entrevistas e avaliação de evidências como fotos, vídeos, desenhos, esquemas e informações públicas.

Para as entrevistas foi utilizado o roteiro de entrevista disponível no Apêndice A, tido como base para a coleta de dados.

Foram considerados nove profissionais, dentre eles oito executivos, como representantes das empresas de codinome RET, AUT, EMB e CO, sendo um de cada uma das empresas tido como informante principal. Foi realizada a visita in loco na empresa RET por se tratar de uma operação desconhecida até então e tidas como conhecidas as instalações das empresas AUT e EMB, não foi possível visitar a empresa CO por restrições devido à pandemia de COVID 19 e desta forma somar à realização de reuniões realizadas junto à três representantes. Houve a utilização de recursos de gravação para a grande maioria das entrevistas adicionais realizadas para coleta de dados com base no roteiro de entrevista (ver Apêndice A) em formato de fone conferência ou vídeo conferência, assim como anotações, transcrições e vasta troca de mensagens de texto e de arquivos eletrônicos.

Alguns artigos são tidos como fundamentais para a elaboração do roteiro de entrevista. Buer, Strandhagen e Chan (2018) apresentaram a estrutura conceitual de interações entre indústria 4.0, lean manufacturing, desempenho e ambiente apresentada, conforme Figura 5. É importante salientar que o aspecto ambiente não foi explorado neste trabalho.

Wagner et al. (2017) analisaram o impacto de indústria 4.0 em lean manufacturing e Dombrowski, Richter e Krenkel (2017) analisaram as interdependências de lean manufacturing e indústria 4.0, ambos juntos às empresas. Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) correlacionaram desafios de lean manufacturing com soluções de indústria 4.0 e que se encontra no roteiro de entrevista. Karre et al (2017) indicam direcionadores de valor para indústria 4.0 e que também constam no roteiro de entrevista. Por fim, foram acessados Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), CNI (2016) e Dalenogare et al. (2018) entre outros como base para avaliações motivadores e barreiras. No Quadro 11 se apresentam inversamente correlacionadas as referências com os respectivos fatores de pesquisa.

Quadro 27 - Fatores de pesquisa e referências

| Fatores de Pesquisa | Referências |
|---|---|
| Avaliação da aplicação de princípios lean manufacturing | Liker (2005); Ohno (1997); Imai (1996) |
| Avaliação da aplicação de habilitadores da indústria 4.0 | Dalenogare et al. (2018); Fatorachian e Kazemi (2018); Moeuf et al. (2018); Okorie et al. (2018); Saucedo-Martínez et al. (2018); Stock et al. (2018); Wang et al. (2017); Yin, Stecke e Li (2018); Buer, Strandhagen e Chan (2018); ABDI (2017); |
| Contribuição de Lean Manufacturing com habilitadores da Indústria 4.0 | Wagner et al. (2017); Moeuf et al. (2018); Rossini et al. (2019); Buer, Strandhagen e Chan (2018); Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, 2016 |
| Contribuição de habilitadores da Indústria 4.0 com Lean Manufacturing | Dombrowski, Richter e Krenkel (2017); Leyh, Martin e Schaffer (2017); CNI (2018); Tortorella e Fettermann (2017); Buer, Strandhagen e Chan (2018); ABDI (2017); Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, 2016 |
| Avaliação dos desafios Lean Manufacturing e soluções Indústria 4.0 | Buer, Strandhagen e Chan (2018); Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, 2016 |
| Direcionadores de valor de Lean Manufacturing e Indústria 4.0 | Karre et al (2017) |
| Motivações e barreiras | CNI (2016); Kagermann et al. (2013); Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016); Buer, Strandhagen e Chan (2018); ABDI (2017); Dalenogare et al. (2018); McKinsey&Company (2013) |

Fonte: Autor

Vale salientar que a realização dos estudos de casos se deu basicamente entre maio e agosto de 2020 e em plena pandemia de COVID 19, em que houve recomendação por parte do Ministério da Saúde do governo brasileiro e da Secretaria da Saúde do estado de São Paulo quanto ao isolamento social com o objetivo de reduzir a transmissão do vírus e consequentemente evitar o colapso hospitalar e preservar vidas. Atividades pontuais foram realizadas fora do período mencionado. No entanto, foram utilizados intensamente recursos como fone conferência, vídeo conferência, mensagens de texto e troca de arquivos eletrônicos

associados à protocolos sanitários de forma à cumprir com o rigor acadêmico necessário para a realização do trabalho.

# 4 APRESENTAÇÃO DOS CASOS

Foram selecionadas e validadas quatro empresas para realização de pesquisa empírica com formato de avaliação de estudos de casos exploratórios, cujas informações detalhadas estão apresentadas ao longo do trabalho de modo a preservar suas políticas de sigilo. A primeira empresa caracterizada com o nome RET, é parte do segmento de autopeças e subsidiária de uma grande corporação com expressivo posicionamento como fabricante de sistemas de vedação, a empresa denominada AUT apresenta destaque no volume de produção no mercado automotivo e com ações significativas em indústria 4.0 e lean manufacturing, a empresa descrita como EMB é referência em produção de embalagens flexíveis e a empresa denominada CO sendo uma empresa do segmento automotivo, com expressivo volume de produção e com grande complexidade de produtos.

Cada empresa selecionada foi representada por uma pessoa caracterizada como informante principal e cuja função se encontra diretamente relacionada a indústria 4.0 e lean manufacturing, responsável pela organização da entrevista e demais informações, e também representada por outra ou outras tidas como informantes secundários com o mesmo conhecimento ou com atribuição similar.

Informações sobre setor de atuação, empresas e representantes entre outras se encontram apresentadas no Quadro 13.

Quadro 28 - Perfil das empresas, representantes e coleta de dados

| Caso | Setor de atuação | Origem do capital | Porte | Localização | Representantes | Coleta de Dados |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RET | Autopeças | Multinacional | Médio | São Paulo | Gerente de Operações<br>Coordenador da Produção | Visita à planta / Vídeo e fone conferência |
| AUT | Automotivo | Multinacional | Grande | São Paulo | Gerente de Manufatura<br>Gestor Planej. Manufatura | Visita à planta / Vídeo e fone conferência |
| EMB | Embalagens Flexíveis | Multinacional | Médio | São Paulo | Gerente Industrial<br>Diretor Industrial | Visita à planta / Vídeo e fone conferência |
| CO | Automotivo | Multinacional | Grande | Rio de Janeiro | Coord. Eng. Manufatura<br>Engenheiro de Serviços<br>Supervisor de serviços | Vídeo e fone conferência |

Fonte: Autor

## 4.1 EMPRESA DE AUTOPEÇAS (RET)

A empresa caracterizada como RET é uma subsidiária de uma corporação multinacional atuante no segmento de autopeças e situada em São Paulo. Sua operação é baseada na produção de autopeças para montadoras de veículos e para outras empresas de autopeças, com posição de destaque no segmento. Esta empresa produz e fornece peças de borracha e peças de borracha com insertos metálicos, com produção total de cerca de cinco milhões de unidades ao mês na ocasião da visita

Foi constatado que não existe um departamento com dedicação exclusiva à indústria 4.0 e lean manufacturing. Assim, o desenvolvimento, implementação e gestão são realizados pela gerência de operações.

Foi observado que, ao longo do tempo, houve mudanças significativas do posicionamento dos prédios distribuídos na área fabril da empresa e mudanças de leiaute de áreas produtivas, de logística, escritórios e áreas de suporte como restaurante, enfermaria, sala de treinamento e vestiário. Todas estas modificações atenderam ao princípio lean manufacturing de redução de desperdícios, onde foi obtida redução significativa de distâncias entre os departamentos o que tornou a empresa enxuta neste aspecto.

O processo de produção se resume no recebimento da matéria prima como borracha, ferragem e demais insumos, na composição da massa, na vulcanização da massa com a borracha e no armazenamento e expedição do produto acabado.

Para esta empresa foram constatados todos os princípios lean manufacturing e para o que se refere a habilitadores de indústria 4.0 foi identificada a ausência de big data, inteligência artificial, manufatura aditiva e tecnologias digitais. Desta forma, para esta empresa estão restritas as interações entre os princípios e os habilitadores encontrados.

### 4.1.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing

Buer, Strandhagen e Chan (2018) sugerem como estrutura conceitual a avaliação da interação entre indústria 4.0 e lean manufacturing. Wagner et al. (2017) analisaram impacto de indústria 4.0 em lean manufacturing junto às empresas, associando habilitadores de indústria 4.0 com lean manufacturing.

Para a empresa RET foi constatado que habilitadores de indústria 4.0 tem predominância de alto impacto em princípios lean manufacturing, com a ocorrência de três alto impacto e dois de médio impacto. Os habilitadores encontrados são cloud, IoT, CPS, simulação e robotização

e os não encontrados são big data, manufatura aditiva, inteligência artificial e tecnologias digitais. Os princípios que ocorreram são processos estáveis e padronizados e redução de desperdícios. No Quadro 14 se encontram detalhes sobre as interações entre indústria 4.0 e Lean para a empresa AUT, inclusive evidências.

Devido à inexistência dos habilitadores big data, manufatura aditiva, inteligência artificial e tecnologias digitais no estudo de caso, não são avaliadas as interações entre estes habilitadores e lean manufacturing. Desta forma, o recorte das interações entre habilitadores de indústria 4.0 e conceitos lean manufacturing é dado com os descritos como cloud, IoT, CPS, simulação e robotização, tidos como relevantes para a empresa RET.

Quadro 29 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (RET)

| Habilitadores de Indústria 4.0 | | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Habilitadores de Indústria 4.0 associados à Lean Manufacturing |
|---|---|---|---|
| **Cloud** Nuvem | | +++ | **Avaliação:** informações de produção geradas na matriz alemã são acessadas pela filial brasileira **Cloud associado à Princípio Lean Manufacturing -> Redução de desperdícios:** agilidade na disponibilidade e acesso à informação, informação compartilhada |
| **IoT** Internet of Things | | ++ | **Avaliação:** sensor mede temperatura e ajustes são realizados automaticamente, porém a informação não é compartilhada por falta de conexão à internet **IoT associado à Princípio Lean Manufacturing -> Processos estáveis e Padronizados:** sensor mede temperatura e indica ajuste, porém não há disseminação de informação para controle de qualidade e ajustes no equipamento como exemplo, scrap é evitado |
| **Big Data** | | | |
| **CPS** | **Lean Manufacturing** | +++ | **Avaliação:** mesma máquina exemplificada no IoT, que detecta variação de temperatura e corrige, porém que não compartilha a informação **CPS associado à Princípio Lean Manufacturing -> Processos estáveis e Padronizados:** correção da temperatura, porém sem a disseminação de informação para controle de qualidade e ajustes no equipamento, como exemplo **-> Redução de desperdicios:** com o monitoramento da temperatura, scrap é eliminado através do ajuste da temperatura antes que o scrap seja gerado, outras ações poderiam ser efetivadas |
| **Manufatura Aditiva** | | | |
| **Simulação** | | +++ | **Avaliação:** simulação de novos produtos em programa computacional **Simulação associada à Princípio Lean Manufacturing -> Redução de desperdícios:** define parâmetros de projeto e produção antes de efetivá-los no processo, evita ou ameniza "tentativa e erro" |
| **Robotização** | | ++ | **Avaliação:** uso de robôs **Robotização associada à Princípio Lean Manufacturing -> Processos estáveis e Padronizados:** a estabilidade e padronização de atividades é maior com robôs quando comparada com humanos -> **Redução de desperdícios:** os robôs são mais precisos, mais ágeis e geram menos scraps que humanos |
| **Inteligência Artificial** | | | |
| **Tecnologias Digitais** | | | |

Fonte: Autor

### 4.1.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0

Buer, Strandhagen e Chan (2018) sugerem como estrutura conceitual a avaliação da interação entre lean manufacturing e indústria 4.0. Dombrowski, Richter e Krenkel (2017) analisaram as interdependências de lean manufacturing e indústria 4.0 junto às empresas, com abordagem que associa princípios de lean manufacturing com habilitadores de indústria 4.0.

Para a empresa RET foi constatado que princípios lean manufacturing têm impacto predominantemente médio em habilitadores de indústria 4.0, ou seja, são três impactos médios, um alto e um baixo. Os princípios lean manufacturing que ocorreram com maior frequência são redução de desperdícios e processos estáveis e padronizados. No Quadro 15 se encontram detalhes sobre as interações entre lean manufacturing e indústria 4.0 para a empresa RET, inclusive evidências.

Devido à inexistência dos habilitadores big data, manufatura aditiva, inteligência artificial e tecnologias digitais na empresa avaliada, não são avaliadas as interações entre lean manufacturing e estes habilitadores. Desta forma, o recorte das interações entre conceitos lean manufacturing é dado com os habilitadores de indústria 4.0 descritos como cloud, IoT, CPS, simulação e robotização, tidos como relevantes para a empresa RET.

Quadro 30 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (RET)

| | Habilitadores de Indústria 4.0 | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Princípio Lean Manufacturing associado à Indústria 4.0 |
|---|---|---|---|
| Lean Manufacturing | Cloud Nuvem | + | **Avaliação:** informações de produção geradas na matriz alemã são acessadas pela filial brasileira<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Cloud -> Redução de desperdícios:** redução de produtos ou atividades e consequentemente de dados transferidos para a nuvem |
| | IoT Internet of Things | ++ | **Avaliação:** sensor mede temperatura e ajustes são realizados automaticamente, porém a informação não é compartilhada por falta de conexão à internet<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à IoT -> Processos estáveis e Padronizados:** processo estabelece que a temperatura seja monitorada |
| | Big Data | | |
| | CPS | ++ | **Avaliação:** máquina dotada de sensor de temperatura e ajustes automáticos, tem infraestrutura porém não é conectada à internet e não compartilha informação<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à IoT -> Processos estáveis e Padronizados:** é definida a ação padronizada de medição de temperatura e correção -> |
| | Manufatura Aditiva | | |
| | Simulação | ++ | **Avaliação:** simulação de novos produtos em programa computacional<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Cloud -> Redução de desperdícios:** são realizadas somente as simulações necessárias ao processo |
| | Robotização | +++ | **Avaliação:** uso de robôs<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Cloud -> Redução de desperdícios:** a instalação de robôs em lay-out otimizado propicia a redução de distâncias ou até mesmo redução do número de robôs ou de atividades realizadas pelos robôs |
| | Inteligência Artificial | | |
| | Tecnologias Digitais | | |

Fonte: Autor

### 4.1.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0

Para a avaliação da interação entre indústria 4.0 e lean manufacturing, Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016) consideraram dez dimensões lean manufacturing, caracterizados por meio de desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0. Assim, foi avaliada a aderência de tais considerações para os estudos de caso, assim como foram coletadas evidências.

Para a empresa RET, as dimensões lean manufacturing relevantes são produção puxada, fluxo contínuo e envolvimento dos funcionários. O Quadro 16 apresenta a avaliação dos desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, bem como de aderência ao estudo de caso.

Quadro 31 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (RET)

| | Desafios para a implementação enxuta da perspectiva de integração | Soluções fornecidas pela Indústria 4.0 | Nível de aderência |
|---|---|---|---|
| **Dimensões Lean Manufacturing** | **Barreiras** | **Motivações** | |
| **Feedback do fornecedor** | Recursos e conhecimentos limitados | Fabricação colaborativa | |
| | Diferença nos modelos de negócio, operação e práticas de manutenção de dados | Melhores mecanismos de comunicação | |
| | | Sincronização de dados | |
| **JIT realizado pelo fornecedor** | Status de remessa de mercadoria incompleta | Identificação de itens | |
| | Incompatibilidade na quant. mercadoria | Rastreamento sem fio de mercadorias | |
| | Atrasos inesperados durante o transporte | Realocação inteligente de pedido | |
| **Desenvolvimento do fornecedor** | Recursos e conhecimentos inadequados | Interfaces padronizadas | |
| | Compatibilidade equipam. entre organizações | Organizações virtuais - cooperação sinérgica | |
| **Envolvimento do cliente** | Pouca flexibilidade para alteração do produto | Período de congelamento prolongado | |
| | Relação entre necessidades e funções | Implementação Qualidade em grande volume | |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes | Análise de uso | |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimento material | ++ |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban | + |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real | + |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação | +++ |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada | ++ |
| **Redução de tempo de setup** | Adaptação processo baseado experiênc. humana | Auto-otimização e aprendizado de máquina | |
| | | comunicação da peça em processo | |
| **TPM - Total Productive Maintenance** | Nenhum controle de avaria de máquina | Comunicação peça-máquina | |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas | Auto avaliação de manutenção | |
| | | Controle preditivo de manutenção | |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina | ++ |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada | ++ |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos | ++ |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feedback inteligentes | ++ |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador | +++ |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada | ++ |

Fonte: Autor

Em sequência, se encontra o recorte das dimensões lean manufacturing relevantes para a empresa RET que são produção puxada, fluxo contínuo e envolvimento dos funcionários para avaliação detalhada, bem como síntese de desafios lean manufacturing e soluções indústria 4.0, nível de aderência e evidências, conforme apresentados no Quadro 17.

Quadro 32 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (RET)

| Dimensões Lean Manufacturing | Desafio Lean Manufacturing / Solução Indústria 4.0 | Nível de aderência | Evidência |
|---|---|---|---|
| Produção puxada | Rastreamento inadequado material / monitoramento reabastecimento | ++ | reabastecimento monitorado p/ 30% insumos de alto valor agregado |
| | Alteração no cronograma de produção / agendam. e atualização kanban | + | agendamento manual atende as necessidades |
| Fluxo contínuo | Erros na contagem de inventário / rastreamento em tempo real | + | contabilização semanal suficiente |
| | Escassez de capacidade / subcontratação | +++ | subcontratação frequente |
| | Sistemas de controle centralizados / decisões descentralizadas | ++ | decisões descentralizadas com certa frequência |
| CEP - Controle Estatístico de Processo | Ignorância de operadores / Comunicação peça-máquina | ++ | houve melhora significativa pontual no setor de massa |
| | não rastreamento variações processo / Interface homem-máquina aprimorada | ++ | |
| | não rastreamento variações processo / Rastream./integração/gerenc. processos | ++ | |
| Envolvimento de funcionários | Mecanismos de feedback inadequados / dispositivos de feedbacks inteligentes | ++ | sistema eletrônico de feedback |
| | Práticas de avaliação de desempenho / sistema de apoio ao trabalhador | +++ | apoio ao trabalhador, premiações frequentes para destaques |
| | Monotonia no trabalho / interface homem-máquina aprimorada | ++ | interface aprimorada para ergonomia, porém há oportunidades |

Fonte: Autor

Observa-se que o nível de aderência dos desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 tem aderência predominantemente de médio impacto com 4 ocorrências, com 2 ocorrências de baixo impacto e duas de alto impacto.

### 4.1.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing

Karre et al (2017) consideram como direcionadores de valor a utilização de ativos, inventário recursos/processos, combinação de oferta e demanda, mão-de-obra, qualidade, serviço/pós venda, e time-to-market que é o tempo entre concepção do produto e início de venda para a avaliação do desempenho de implementação de indústria 4.0, considerados neste trabalho como métricas para avaliação do desempenho de implementação de indústria 4.0 e lean manufacturing.

Portanto, para o estudo de caso da empresa RET, foi avaliado o impacto nos direcionadores de valor e foram acrescentadas evidências, conforme apresentado no Quadro 18. Assim, é possível delinear o recorte dos direcionadores de valor relevantes para a empresa RET que são todos com exceção ao direcionador serviço e pós venda.

Quadro 33 - Direcionadores de valor (RET)

| Direcionador de valor | Impacto | Comentários |
|---|---|---|
| Utilização de ativos | +++ | Cloud, simulação e robotização contribuem para que o processo seja utilizado de forma mais eficaz |
| Inventário | + | utilização de gerenciamento visual |
| Recursos / processos | ++ | Cloud assegura atualização de informações de produção de forma ágil, com contribuição positiva para qualidade e redução de desperdícios por desatualização de produto |
| Combinação de oferta x demanda | + | baixo impacto para combinação de ferramentas |
| Mão-de-obra | ++ | incremento na performance |
| Qualidade | ++ | ferramentas asseguram contribuição positiva para qualidade |
| Serviço e pós venda | | |
| Time to market<br>tempo entre concepção do produto e início de venda | ++ | A simulação inserida no processo ajuda a reduzir o tempo de implementação de um novo produto, através da eliminação ou redução de experimentos na fábrica |

Fonte: Autor

### 4.1.5 Motivações, barreiras e stakeholders

Com o propósito de proporcionar uma ampla avaliação sobre as interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing sobre a empresa pesquisada RET, a seguir se encontram os levantamentos sobre motivações, barreiras e stakeholders.

#### *4.1.5.1 Motivações*

Para o estudo de caso da empresa RET, são tidas como motivações a capacitação técnica e a motivação das pessoas.

#### *4.1.5.2 Barreiras*

É vista como barreira a implementação de novos habilitadores tidos como necessidades específicas da planta que se limita ao incentivo da subsidiária local com orçamento restrito. A taxa cambial e estratégia da corporação para a subsidiária local também são tidas como barreira.

#### *4.1.5.3 Stakeholders*

Adicionalmente, foram avaliados os stakeholders nos estudos de caso. Para a empresa RET, foi constatado que não há um critério único para tratativa de indústria 4.0 e lean manufacturing. Para lean manufacturing, a empresa conta com uma estrutura top-down com iniciativa da alta hierarquia da corporação para questões referentes à implementação e

operacionalização dos princípios lean manufacturing. Para indústria 4.0, há habilitadores corporativos implementados que são parte da operação, já a implementação de novos habilitadores tidos como necessidades específicas da planta se limita ao incentivo da subsidiária local com orçamento restrito. Assim, o apoio de stakeholders para indústria 4.0 e lean manufacturing para empresa RET é considerado como de médio.

## 4.2 EMPRESA AUTOMOTIVA (AUT)

A empresa denominada AUT é uma empresa automotiva multinacional fabricante de veículos localizada em São Paulo, com produção de veículos para o mercado local e de exportação. Esta empresa apresenta posição de destaque tanto no mercado local como em exportações.

Nesta empresa há pessoas dedicadas à indústria 4.0 e lean manufacturing e que contam com o apoio, iniciativa e suporte financeiro da hierarquia. Também foram observadas ferramentas, sistemas e recursos apropriados para a realização das atividades pertinentes. A empresa AUT trabalha com lean manufacturing há mais de 10 anos.

A operação da empresa se baseia na fabricação de algumas peças e componentes, no recebimento das demais peças e componentes, na montagem e na entrega às lojas do produto acabado. Os produtos são desenvolvidos pela própria empresa, em conjunto com a matriz, demais subsidiárias e fornecedores.

Para esta empresa foram constatados todos os princípios lean manufacturing e referente a habilitadores de indústria 4.0 foi identificada a ausência de cloud, big data e inteligência artificial. Desta forma, para esta empresa estão restritas as interações entre os princípios e os habilitadores encontrados.

### 4.2.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing

Para a empresa AUT foi constatado que a associação entre habilitadores de indústria 4.0 e lean manufacturing tem a ocorrência de três impactos médio e três de impactos alto. Os princípios lean manufacturing que ocorreram são processos estáveis e padronizados e também redução de desperdícios. No Quadro 19 se encontram detalhes sobre as interações entre indústria 4.0 e Lean e para a empresa AUT, inclusive evidências.

Quadro 34 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (AUT)

| Habilitadores de Indústria 4.0 | | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Habilitadores de Indústria 4.0 associados à Lean Manufacturing |
|---|---|---|---|
| **Cloud**<br>Nuvem | | | |
| **IoT**<br>Internet of Things | | ++ | sensores de vibração, ruído e temperatura integrados para identificação precoce de problemas e manutenção preditiva para planejamento de aquisição de insumos<br>**IoT associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** propicia o mantenimento da estabilidade do processo evitando paradas desnecessárias ou imprevistas de manutenção<br>**-> Redução de desperdicios:** utilização máxima do recurso antes de sua substituição por manutenção |
| **Big Data** | | | |
| **CPS** | **Lean Manufacturing** | ++ | equipamentos dotados com medições para ajuste de processo e conexão com fornecedores para planejamento de peças de reposição<br>**CPS associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** propicia o mantenimento da estabilidade do processo evitando paradas desnecessárias ou imprevistas de manutenção<br>**-> Redução de desperdicios:** utilização máxima do recurso antes de sua substituição por manutenção |
| **Manufatura Aditiva** | | +++ | utilização de impressoras 3D para construção de protótipos e dispositivos auxiliares para produção<br>**Manufatura Aditiva associada à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> redução de desperdicios:** redução de tempo e de investimento quando comparado com protótipos e dispositivos manufacturados |
| **Simulação** | | +++ | utilização de softwares de simulação no projeto de processos de usinagem, montagem, fluxo logístico e postos de trabalho<br>**Simulação associada à Princípios Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** possibilita execução de projeto de forma à garantir a estabilidade do processo<br>**-> Redução de desperdicios:** projetos executados de forma otimizada |
| **Robotização** | | +++ | utilização de robôs para automatização de operações, incluindo robôs colaborativos<br>**Robotização associada à Princípios Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** propiciam redução de desvios de estabilidade de processo<br>**-> Redução das perdas ou redução de desperdicios:** propiciam processos enxutos e não dependentes de variáveis humanas |
| **Inteligência Artificial** | | | |
| **Tecnologias Digitais** | | ++ | digitalização: automação de processos administrativos<br>virtualização/realidade virtual: desenvolvimento de operações e processos<br>**Tecnologias Digitais como Digitalização, virtualização, Realidade Virtual associadas à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** possibilita execução de projeto de forma à garantir a estabilidade do processo<br>**-> Redução de desperdicios:** projetos executados de forma otimizada |

Fonte: Autor

Devido à inexistência dos habilitadores cloud, big data, e inteligência artificial no estudo de caso, não são avaliadas as interações entre estes habilitadores e lean manufacturing. Desta forma, o recorte das interações entre habilitadores de indústria 4.0 e princípios lean manufacturing é dado com base em IoT, CPS, manufatura aditiva, simulação, robotização e tecnologias digitais, tidos como relevantes para a empresa AUT.

### 4.2.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0

Para a empresa AUT foi constatado que a associação entre lean manufacturing e habilitadores de indústria 4.0 têm três ocorrências de impacto médio e três de impacto alto. Os princípios lean manufacturing que ocorreram são cultura Toyota 4P, melhoria contínua ou Kaizen e redução de desperdícios. No Quadro 20 se encontram detalhes sobre as interações entre lean manufacturing e indústria 4.0 para a empresa AUT, inclusive evidências.

Quadro 35 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (AUT)

| Habilitadores de Indústria 4.0 | | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Habilitadores de Indústria 4.0 associados à Lean Manufacturing |
|---|---|---|---|
| **Cloud**<br>Nuvem | | | |
| **IoT**<br>Internet of Things | | ++ | sensores de vibração, ruído e temperatura integrados para identificação precoce de problemas e manutenção preditiva para planejamento de aquisição de insumos<br>**IoT associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** propicia o mantenimento da estabilidade do processo evitando paradas desnecessárias ou imprevistas de manutenção<br>**-> Redução de desperdicios:** utilização máxima do recurso antes de sua substituição por manutenção |
| **Big Data** | | | |
| **CPS** | **Lean Manufacturing** | ++ | equipamentos dotados com medições para ajuste de processo e conexão com fornecedores para planejamento de peças de reposição<br>**CPS associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** propicia o mantenimento da estabilidade do processo evitando paradas desnecessárias ou imprevistas de manutenção<br>**-> Redução de desperdicios:** utilização máxima do recurso antes de sua substituição por manutenção |
| **Manufatura Aditiva** | | +++ | utilização de impressoras 3D para construção de protótipos e dispositivos auxiliares para produção<br>**Manufatura Aditiva associada à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> redução de desperdicios:** redução de tempo e de investimento quando comparado com protótipos e dispositivos manufacturados |
| **Simulação** | | +++ | utilização de softwares de simulação no projeto de processos de usinagem, montagem, fluxo logístico e postos de trabalho<br>**Simulação associada à Princípios Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** possibilita execução de projeto de forma à garantir a estabilidade do processo<br>**-> Redução de desperdicios:** projetos executados de forma otimizada |
| **Robotização** | | +++ | utilização de robôs para automatização de operações, incluindo robôs colaborativos<br>**Robotização associada à Princípios Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** propiciam redução de desvios de estabilidade de processo<br>**-> Redução das perdas ou redução de desperdicios:** propiciam processos enxutos e não dependentes de variáveis humanas |
| **Inteligência Artificial** | | | |
| **Tecnologias Digitais** | | ++ | digitalização: automação de processos administrativos<br>virtualização/realidade virtual: desenvolvimento de operações e processos<br>**Tecnologias Digitais como Digitalização, virtualização, Realidade Virtual associadas à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** possibilita execução de projeto de forma à garantir a estabilidade do processo<br>**-> Redução de desperdicios:** projetos executados de forma otimizada |

Fonte: Autor

Devido à inexistência dos habilitadores cloud, big data e inteligência artificial no estudo de caso, não são avaliadas as interações entre lean manufacturing e estes habilitadores. Desta

forma, o recorte das interações entre princípios lean manufacturing é dado com os habilitadores de indústria 4.0 descritos como cloud, IoT, CPS, manufatura aditiva, simulação, robotização e tecnologias digitais, tidos como relevantes para a empresa AUT.

### 4.2.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0

Para a empresa AUT, todas as dimensões lean manufacturing são relevantes com exceção a envolvimento do cliente. O Quadro 21 apresenta a avaliação dos desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, bem como de aderência ao estudo de caso.

Quadro 36 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (AUT)

| | Desafios para a implementação enxuta da perspectiva de integração | Soluções fornecidas pela Indústria 4.0 | Nível de aderência |
|---|---|---|---|
| **Dimensões Lean Manufacturing** | **Barreiras** | **Motivações** | |
| **Feedback do fornecedor** | Recursos e conhecimentos limitados | Fabricação colaborativa | ++ |
| | Diferença nos modelos de negócio, operação e práticas de manutenção de dados | Melhores mecanismos de comunicação | ++ |
| | | Sincronização de dados | ++ |
| **JIT realizado pelo fornecedor** | Status de remessa de mercadoria incompleta | Identificação de itens | ++ |
| | Incompatibilidade na quant. mercadoria | Rastreamento sem fio de mercadorias | ++ |
| | Atrasos inesperados durante o transporte | Realocação inteligente de pedido | ++ |
| **Desenvolvimento do fornecedor** | Recursos e conhecimentos inadequados | Interfaces padronizadas | +++ |
| | Compatibilidade equipam. entre organizações | Organizações virtuais - cooperação sinérgica | +++ |
| **Envolvimento do cliente** | Pouca flexibilidade para alteração do produto | Período de congelamento prolongado | |
| | Relação entre necessidades e funções | Implementação Qualidade em grande volume | |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes | Análise de uso | |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimento material | +++ |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban | +++ |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real | +++ |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação | ++ |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada | ++ |
| **Redução de tempo de setup** | Adaptação processo baseado experiênc. humana | Auto-otimização e aprendizado de máquina | +++ |
| | | comunicação da peça em processo | +++ |
| **TPM - Total Productive Maintenance** | Nenhum controle de avaria de máquina | Comunicação peça-máquina | + |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas | Auto avaliação de manutenção | +++ |
| | | Controle preditivo de manutenção | +++ |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina | ++ |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada | ++ |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos | ++ |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feedback inteligentes | + |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador | ++ |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada | +++ |

Fonte: Autor

Em sequência, se encontra-se o recorte dos princípios lean manufacturing relevantes para a empresa AUT e ainda são apresentados síntese de desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, nível de aderência e evidências para realização de avaliação detalhada, representados no Quadro 22.

Quadro 37 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (AUT)

| Dimensões Lean Manufacturing | Desafio Lean Manufacturing / Solução Indústria 4.0 | Nível de aderência | Evidência |
|---|---|---|---|
| Feedback do fornecedor | Recursos e conhecimentos limitados / Fabricação colaborativa | ++ | projetos de otimização de processo produtivo em conjunto com fornecedores |
| | Diferentes negócios, operações e dados / melhor comunicação | ++ | casos de manutenção de equipamentos por acesso remoto |
| | Diferentes negócios, operações e dados / sincronização de dados | ++ | |
| JIT realizado pelo fornecedor | Status de remessa de mercadoria incompleta / Identificação de itens | ++ | utilização de RFID para rastreamento |
| | Incompatibilidade quantidade mercadoria / Rastreamento mercadorias | ++ | |
| | Atrasos inesperados durante transporte / Realocação inteligente de pedido | ++ | |
| Desenvolvimento do fornecedor | Recursos e conhecimentos inadequados / Interfaces padronizadas | +++ | padronização entre empresa e fornecedores para desenvolvimento de equipamentos, dispositivos, simulações e programações |
| | Compatibilidade entre organizações / Organizações virtuais - sinergia | +++ | |
| Produção puxada | Rastreamento inadequado material / monitoramento reabastecimento | +++ | KANBAN inteligente para abastecimento de linha |
| | Alteração no cronograma de produção / agendam. e atualização kanban | +++ | |
| Fluxo contínuo | Erros na contagem de inventário / rastreamento em tempo real | +++ | gerenciamento e automatização para assegurar processo contínuo |
| | Escassez de capacidade / subcontratação | ++ | subcontratações pontuais |
| | Sistemas de controle centralizados / decisões descentralizadas | ++ | decisões descentralizadas pontuais dentro de limites pré- |
| Redução de tempo de setup | adaptação base experiênc. humana / auto-otimização e aprendizado máquina | +++ | processo desenvolvido para assegurar flexibilidade de troca de modelos em lotes mínimos, setups automatizados |
| | adaptação base experiênc. humana / comunicação peça em processo | +++ | |
| TPM - Total Productive Maintenance | Nenhum controle de avaria de máquina / Comunicação peça-máquina | + | TPM implementado quase em sua totalidade |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas / Auto avaliação de manutenção | +++ | |
| | Tempo desconhecido solução problemas / Controle preditivo de manutenção | +++ | TPM implementado quase em sua totalidade com pilotos de manutenção preditiva |
| CEP - Controle Estatístico de Processo | Ignorância de operadores / Comunicação peça-máquina | ++ | CEP implementado quase em sua totalidade |
| | não rastreamento variações processo / Interface homem-máquina aprimorada | ++ | |
| | não rastreamento variações processo / Rastream./integração/gerenc. processos | ++ | |
| Envolvimento de funcionários | Mecanismos de feedback inadequados / dispositivos de feedbacks inteligentes | + | sistema de feedback eficazes entre departamentos |
| | Práticas de avaliação de desempenho / sistema de apoio ao trabalhador | ++ | existente |
| | Monotonia no trabalho / interface homem-máquina aprimorada | +++ | interface aprimorada, com monotonia reduzida pela rotatividade de operadores |

Fonte: Autor

Observa-se que o nível de aderência dos desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 tem aderência baixa com 2 ocorrências, média com 12 ocorrências e alta 10 ocorrências, num total de 16 avaliações.

### 4.2.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing

Para o estudo de caso da empresa CO, foi avaliado o impacto de indústria 4.0 e lean manufacturing nos direcionadores de valor e acrescentados comentários, conforme apresentado no Quadro 23. Assim, é possível identificar que todos os direcionadores de valor são representativos para a empresa AUT, exceto o direcionador serviço e pós-venda.

Quadro 38 - Direcionadores de valor (AUT)

| Direcionador de valor | Impacto | Comentários |
|---|---|---|
| Utilização de ativos | +++ | utilização de ativos otimizada por melhoria contínua e tecnologias |
| Inventário | +++ | identificação e controle de estoques mínimos |
| Recursos / processos | +++ | workshops Kaizen frequentes associados à tecnologias |
| Combinação de oferta x demanda | ++ | volatilidade de demandas atendida com flexibilização do processo e tecnologias |
| Mão-de-obra | ++ | otimização com redução de desperdícios e implementação de tecnologias |
| Qualidade | +++ | tecnologias implementadas em base lean contribuem com incremento de qualidade |
| Serviço e pós venda | | |
| Time to market<br>tempo entre concepção do produto e início de venda | +++ | em processo Lean estabelecido, tecnologias reduzem o tempo de desenvolvimento e protótipos |

Fonte: Autor

Indústria 4.0 e lean manufacturing têm alto impacto nos direcionadores de valor descritos como utilização de ativos, inventário, recursos e processos, qualidade e time to Market, médio impacto nos direcionadores combinação de oferta e demanda e não tem impacto no direcionador serviço e pós venda.

### 4.2.5 Motivações, barreiras e stakeholders

Referente a motivações, barreiras e stakeholders sobre interações indústria 4.0 e lean manufacturing, a seguir se encontra a avaliação das informações levantadas no estudo de caso da empresa AUT.

#### *4.2.5.1 Motivações*

No estudo de caso da empresa AUT, para o que se refere à indústria 4.0 e lean manufacturing, são apresentadas as seguintes motivações:

1. redução de custo;
2. aumento da qualidade;
3. perpetuação do negócio;
4. assegurar a competitividade;
5. busca por inovações;
6. processos seguros;
7. processos eficazes.

#### *4.2.5.2 Barreiras*

Para a empresa AUT, a negociação com representação dos empregados e com o sindicato é considerada uma barreira, uma vez que a negociação de melhorias de processo e adoção de novas tecnologias apresentadas pela empresa são associadas com redução de postos de trabalho por parte da entidade representante da classe.

#### *4.2.5.3 Stakeholders*

Para a avaliação do estudo de caso da empresa AUT é considerado um conjunto de stakeholders que fomentam e proporcionam apoio de auto impacto referente à indústria 4.0 e lean manufacturing, apresentado a seguir com comentários:

1. Corporação: fomenta o desenvolvimento no assunto;
2. Mercado: a competitividade torna destaque iniciativas em soluções inovadoras;
3. Engenharia: inovações estimulam o desenvolvimento de instalações e produtos;
4. Academia: com pesquisa e definição de novos paradigmas de indústria 4.0 e lean manufacturing;
5. Fornecedor: fomenta o desenvolvimento por meio de sugestão de inovações;
6. Sindicato: fomenta a busca de melhores condições de trabalho e de ergonomia.

## 4.3 EMPRESA DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS (EMB)

A empresa EMB produz embalagens flexíveis para o segmento alimentício e correlatos do mercado local e de exportação, situa-se em São Paulo, é caracterizada como de porte médio e tem posicionamento expressivo no segmento.

A operação da empresa EMB se caracteriza no recebimento e armazenamento de matéria prima, transformação da matéria prima em embalagem flexível, estoque e expedição do produto acabado ao cliente.

Foi observado que cuidados e ações referentes à indústria 4.0 e lean manufacturing são pulverizadas entre as ações da engenharia de processo, com destaque para ações pontuais. Houve ocasiões em que a empresa passou por certificações bem sucedidas em TPM - Total Productive Maintenance, porém mudanças na direção e restrições financeiras fizeram com que não houvesse prioridade para indústria 4.0 e lean manufacturing.

Para esta empresa foram constatados todos os princípios lean manufacturing e referente a habilitadores de indústria 4.0 foi identificada a ausência de inteligência artificial. Desta forma, para esta empresa estão restritas as interações entre os princípios e habilitadores encontrados.

### 4.3.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing

Para a empresa EMB foi constatado que a associação entre habilitadores de indústria 4.0 e princípios lean manufacturing tem a ocorrência de quatro impactos médio e de um impacto alto. Os princípios lean manufacturing que ocorreram são processos estáveis e padronizados e redução de desperdícios. No Quadro 24 se encontram detalhes sobre as interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing e para a empresa EMB, inclusive evidências.

Quadro 39 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (EMB)

| Habilitadores de Indústria 4.0 | | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Habilitadores de Indústria 4.0 associados à Lean Manufacturing |
|---|---|---|---|
| Cloud Nuvem | Lean Manufacturing | ++ | informações geradas por usuários armazenadas em cloud<br>**Cloud associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de desperdicios:** rápido e organizado acesso, eficiência na operação |
| IoT Internet of Things | | ++ | sensores informam variações de processo inadequadas, fabricante alemão acessa o equipamento no Brasil para manutenção<br>**IoT associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** desvios de processo são corrigidos pelo fabricante do equipamento, garantindo processos estáveis e padroniados |
| Big Data | | ++ | modelagem matemática para definir melhor alocação de produtos/produção<br>**Big data associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de perdas e redução de desperdicios:** ação tem como objetivo nivelar ao máximo a produção e eliminar perdas de processo por setup e flutuação da produção |
| CPS | | ++ | equipamentos dotados de sensores e de interface com internet no monitoramento de parâmetros de processo<br>**CPS associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** desvios de processo são corrigidos pelo fabricante do equipamento, garantindo processos estáveis e padroniados |
| Manufatura Aditiva | | | |
| Simulação | | ++ | simulação de lotes para definir melhor alocação de produtos/produção<br>**Simulação associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de perdas e redução de desperdicios:** ação tem como objetivo nivelar ao máximo a produção e eliminar perdas de processo por setup e flutuação da produção |
| Robotização | | +++ | robotização utilizado para movimentação de material e seleção de melhor conveniência<br>**Robotização associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de perdas e redução de desperdicios:** redução de movimentação e transporte |
| Inteligência Artificial | | | |
| Tecnologias Digitais | | | |

Fonte: Autor

Devido à inexistência no estudo de caso dos habilitadores manufatura aditiva, inteligência artificial e tecnologias digitais, não são avaliadas as interações entre estes

habilitadores e lean manufacturing. Desta forma, o recorte das interações entre habilitadores de indústria 4.0 e princípios lean manufacturing é dado com base em cloud, IoT, big data, CPS, simulação e robotização, tidos como relevantes para a empresa EMB.

### 4.3.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0

Para a empresa EMB foi constatado que a associação entre lean manufacturing e habilitadores de indústria 4.0 têm duas ocorrências de impacto médio e três de impacto alto. Os princípios lean manufacturing que ocorreram são pessoas e equipe de trabalho, melhoria contínua ou kaizen, Produção nivelada ou heijunka, cultura Toyota 4P e redução de desperdícios. No Quadro 25 se encontram detalhes sobre as interações entre lean manufacturing e indústria 4.0 para a empresa EMB, inclusive evidências.

Quadro 40 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (EMB)

| | Habilitadores de Indústria 4.0 | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Manufacturing associado à Indústria 4.0 |
|---|---|---|---|
| Lean Manufacturing | Cloud Nuvem | ++ | informações geradas por usuários armazenadas em cloud, com acesso ágil e compartilhado<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Cloud**<br>**-> Pessoas e equipe de trabalho:** busca por melhorias no processo |
| | IoT Internet of Things | ++ | sensores informam variações de processo inadequadas, fabricante alemão acessa o equipamento no Brasil para manutenção<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à IoT**<br>**-> Melhoria contínua ou Kaizen:** proporcionou a otimização de processo e a implementação da tecnologia |
| | Big Data | +++ | modelagem matemática sazonal para definir melhor alocação de produtos/produção<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Big Data**<br>**-> Produção nivelada ou heijunka / Melhoria contínua ou Kaizen:** a busca por produção nivelada e pela melhoria do processo conduziu ao Big data |
| | CPS | ++ | equipamentos dotados de sensores e de interface com internet no monitoramento de parâmetros de processo<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à CPS**<br>**-> Melhoria contínua ou Kaizen:** proporcionou a otimização de processo e a implementação da tecnologia |
| | Manufatura Aditiva | | |
| | Simulação | +++ | simulação para definir melhor alocação de produtos/produção<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Simulação**<br>**-> cultura Toyota 4P e Melhoria contínua ou Kaizen:** comportamentos que visam a melhoria |
| | Robotização | +++ | robotização utilizado para movimentação de material e seleção de melhor conveniência<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Robotização**<br>**-> redução de desperdicios:** o planejamento de instalação de robôs têm como base a redução de desperdício e alocação melhorada em lay-out |
| | Inteligência Artificial | | |
| | Tecnologias Digitais | | |

Fonte: Autor

Devido à inexistência no estudo de caso dos habilitadores manufatura aditiva, inteligência artificial e tecnologias digitais, não são avaliadas as interações entre lean manufacturing e estes habilitadores. Desta forma, o recorte das interações entre conceitos lean manufacturing é dado com os habilitadores de indústria 4.0 descritos como cloud, IoT, big data, CPS, simulação e robotização, tidos como relevantes para a empresa EMB.

### 4.3.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0

A avaliação dos desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, bem como de aderência ao estudo de caso, se encontram apresentadas no Quadro 26.

Quadro 41 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (EMB)

| | Desafios para a implementação enxuta da perspectiva de integração | Soluções fornecidas pela Indústria 4.0 | Nível de aderência |
|---|---|---|---|
| **Dimensões Lean Manufacturing** | **Barreiras** | **Motivações** | |
| **Feedback do fornecedor** | Recursos e conhecimentos limitados | Fabricação colaborativa | |
| | Diferença nos modelos de negócio, operação e práticas de manutenção de dados | Melhores mecanismos de comunicação | |
| | | Sincronização de dados | |
| **JIT realizado pelo fornecedor** | Status de remessa de mercadoria incompleta | Identificação de itens | |
| | Incompatibilidade na quant. mercadoria | Rastreamento sem fio de mercadorias | |
| | Atrasos inesperados durante o transporte | Realocação inteligente de pedido | |
| **Desenvolvimento do fornecedor** | Recursos e conhecimentos inadequados | Interfaces padronizadas | |
| | Compatibilidade equipam. entre organizações | Organizações virtuais - cooperação sinérgica | |
| **Envolvimento do cliente** | Pouca flexibilidade para alteração do produto | Período de congelamento prolongado | |
| | Relação entre necessidades e funções | Implementação Qualidade em grande volume | |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes | Análise de uso | |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimentomaterial | + |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban | + |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real | ++ |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação | + |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada | ++ |
| **Redução de tempo de setup** | Adaptação processo baseado experiênc. humana | Auto-otimização e aprendizado de máquina | |
| | | comunicação da peça em processo | |
| **TPM - Total Productive Maintenance** | Nenhum controle de avaria de máquina | Comunicação peça-máquina | +++ |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas | Auto avaliação de manutenção | ++ |
| | | Controle preditivo de manutenção | ++ |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina | +++ |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada | +++ |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos | +++ |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feddback inteligentes | +++ |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador | +++ |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada | +++ |

Fonte: Autor

Em sequência, se encontra o recorte das dimensões lean manufacturing relevantes para a empresa EMB e ainda são apresentados síntese de desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, nível de aderência e evidências para realização de avaliação detalhada, representados no Quadro 27.

Quadro 42 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (EMB)

| Dimensões Lean Manufacturing | Desafios Lean Manufacturing / Soluções Indústria 4.0 | Nível de aderência | Evidência |
|---|---|---|---|
| Produção puxada | Rastreamento inadequado material / monitoramento reabastecimento | + | realizados, porém de forma manual |
| | Alteração no cronograma de produção / agendam. e atualização kanban | + | |
| Fluxo contínuo | Erros na contagem de inventário / rastreamento em tempo real | ++ | realizado de forma manual |
| | Escassez de capacidade / subcontratação | + | subcontratação esporádica para atividades pontuais |
| | Sistemas de controle centralizados / decisões descentralizadas | ++ | decisões conforme limites estabelecidos |
| TPM - Total Productive Maintenance | Nenhum controle de avaria de máquina / Comunicação peça-máquina | +++ | sensores informam variações inadequadas |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas / Auto avaliação de manutenção | ++ | TPM |
| | Tempo desconhecido solução problemas / Controle preditivo de manutenção | ++ | manutenção preditiva pontual |
| CEP - Controle Estatístico de Processo | Ignorância de operadores / Comunicação peça-máquina | +++ | sensores informam variações inadequadas |
| | não rastreamento variações processo / Interface homem-máquina aprimorada | +++ | sensores informam variações inadequadas |
| | não rastreamento variações processo / Rastream./integração/gerenc. processos | +++ | rastreamento de parâmetros de processo |
| Envolvimento de funcionários | Mecanismos de feedback inadequados / dispositivos de feedbacks inteligentes | +++ | feedbacks em sistema digital |
| | Práticas de avaliação de desempenho / sistema de apoio ao trabalhador | +++ | |
| | Monotonia no trabalho / interface homem-máquina aprimorada | +++ | diversidade de atividades |

Fonte: Autor

Assim, observa-se que o nível de aderência dos desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 tem aderência predominantemente alta com sete ocorrências, baixa com três ocorrências e média com quatro, num total de 14 avaliações.

### 4.3.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing

Para o estudo de caso, foi avaliado o impacto de indústria 4.0 e lean manufacturing nos direcionadores de valor e acrescentados comentários, conforme apresentado no Quadro 28. Assim, é possível identificar que todos os direcionadores de valor são representativos para a empresa EMB, exceto o direcionador time to market.

Quadro 43 - Direcionadores de valor (EMB)

| Direcionador de valor | Impacto | Comentários |
|---|---|---|
| Utilização de ativos | ++ | ferramentas de Lean Manufacturing e Indústria 4.0 causam impacto positivo médio na empresa, com potencial de melhoria |
| Inventário | + | melhorias limitadas ao Lean Manufacturing e com pouco uso de tecnologia |
| Recursos e processos | ++ | Kaizen e demais ferramentas melhoram o processo |
| Combinação de oferta e demanda | ++ | Ações de nivelamento da produção com big data e simulação contribuem com redução de perdas e redução de desperdícios |
| Mão-de-obra | ++ | ferramentas proporcionaram a melhoria da mão-de-obra |
| Qualidade | + | uso limitado de tecnologia |
| Serviço e pós venda | + | uso limitado de tecnologia |
| Time to market<br>tempo entre concepção do produto e início de venda | | |

Fonte: Autor

Indústria 4.0 e lean manufacturing têm baixo impacto nos direcionadores de valor descritos como inventário, qualidade e também serviço e pós venda e médio impacto nos direcionadores utilização de ativos, recursos e processo, combinação de oferta e demanda e mão-de-obra.

### 4.3.5 Motivações, barreiras e stakeholders

Para o que se refere às motivações, barreiras e stakeholders sobre interações indústria 4.0 e lean manufacturing, se encontra a seguir a avaliação das informações levantadas no estudo de caso sobre a empresa EMB.

#### *4.3.5.1 Motivações*

No estudo de caso da empresa EMB, para o que se refere à indústria 4.0 e lean manufacturing, são tidas como motivações a redução de custos do produto e da operação e o incremento da qualidade dos produtos.

#### *4.3.5.2 Barreiras*

Para a empresa EMB, se encontra no momento como principal barreira a situação financeira da empresa, em que cortes e ajustes nas finanças tornam prioridade sua operação ao invés de avaliação e implementação de indústria 4.0 e lean manufacturing.

#### *4.3.5.3 Stakeholders*

Para a avaliação do estudo de caso da empresa EMB, é considerado um conjunto de Stakeholders que fomentam e proporcionam apoio de médio impacto para o que se refere às inovações em lean manufacturing e indústria 4.0, apresentadas a seguir com comentários:

1. Corporação: restrição de implementação de ferramentas por acionistas devido à situação financeira da empresa, com expectativa de retomada;
2. Mercado: produtos sofisticados e complexos como direcionadores;
3. Engenharia: desenvolvimento tecnológico e expectativa de redução de custo;
4. Academia: trabalhos produtivos junto às universidades federais.

## 4.4 EMPRESA AUTOMOTIVA PESADA (CO)

A empresa caracterizada como CO é uma empresa automotiva pesada localizada no Rio de Janeiro, com produção de ampla gama de produtos para o mercado local e de exportação e com posição de destaque frente aos produtores do mesmo segmento.

Apesar de ser uma empresa de grande porte, não existem pessoas com dedicação exclusiva para os assuntos de indústria 4.0 e lean manufacturing, sendo que as atividades relacionadas à linha de produção se encontram centralizadas na engenharia de manufatura, as de serviços com a própria equipe e para o restante da empresa pulverizadas em outros departamentos.

As etapas da operação na fábrica se baseiam no recebimento e armazenamento de componentes, na fabricação de peças, na pintura e montagem, realização de testes e no estoque e distribuição de produtos acabados. Em serviços, as atividades estão relacionadas com atendimento à rede de concessionárias por meio de suporte na manutenção, modificação e desenvolvimento de manutenção de produtos modificados e de novos produtos. A empresa também e responsável pela modificação e desenvolvimento de produtos junto à matriz.

Para a empresa CO foram constatados todos os princípios lean manufacturing e referente à habilitadores de indústria 4.0 foi identificada a ausência de inteligência artificial. Desta forma, para empresa CO estão restritas as interações entre os princípios e os habilitadores encontrados.

### 4.4.1 Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing

Para a empresa CO, todas as contribuições de habilitadores de indústria 4.0 identificados em lean manufacturing são de impacto alto. Os princípios lean manufacturing encontrados são redução de desperdícios, processos estáveis e padronizados e melhoria contínua ou kaizen. No Quadro 29 se encontram detalhes sobre as interações entre indústria 4.0 e Lean para a empresa CO, inclusive evidências.

Quadro 44 - Como indústria 4.0 contribui com lean manufacturing (CO)

| Habilitadores de Indústria 4.0 | | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Habilitadores de Indústria 4.0 associados à Lean Manufacturing |
|---|---|---|---|
| **Cloud**<br>Nuvem | Lean Manufacturing | +++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**Cloud associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de desperdicios:** benefícios como agilidade, confiabilidade e facilidade de acesso |
| **IoT**<br>Internet of Things | | +++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**IoT associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de desperdicios:** redução de atividade de medição, intervenção responsiva e compartilhamento de informação<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** proporciona a criação de um novo tipo de processo e elimina instabilidades de processos antecessores |
| **Big Data** | | +++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**Big data associado à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de desperdicios:** avaliações ágeis e resultados acertivos |
| **CPS** | | +++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**CPS associado à Princípio Lean Manufacturing** |
| **Manufatura Aditiva** | | +++ | confecção de dispositivos para produção em impressão 3D<br>**Manufatura Aditiva associada à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de desperdicios:** economia de tempo e redução de investimentos<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** eliminados ou reduzidas variações de fornecimento como tempo, qualidade e atendimento de escopo |
| **Simulação** | | +++ | utilização de sistemas computacionais para simulação de lay-out e produção<br>**Simulação associada à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Redução de desperdicios:** projetos e produção realizados de forma otimizada |
| **Robotização** | | +++ | aplicações de robô em diversas estações de trabalho na fábrica, como exemplo na aplicação de cola<br>**Robotização associada à Princípio Lean Manufacturing**<br>**-> Processos estáveis e Padronizados / Redução de desperdicios:** atividades realizadas sem variações humanas e de forma precisa |
| **Inteligência Artificial** | | | |
| **Tecnologias Digitais** | | +++ | Digitalização, Virtualização, Realidade aumentada, Realidade virtual<br>**Tecnologias Digitais associadas à Princípio Lean Manufacturing**<br>**atividades realizadas na Fábrica**<br>DIGITALIZAÇÃO: informações e desenhos técnicos compartilhados entre diferentes usuários e localizações<br>**-> Redução de desperdicios:** evita impressões em papel e erros por desatualização<br>VIRTUALIZAÇÃO: avaliação 3D de processos, equipamentos e lay-outs<br>**-> Redução de desperdícios:** definição ágil e precisa de recursos<br>**atividades realizadas em Serviços**<br>REALIDADE AUMENTADA: uso de óculos 3D por mecânico e suporte remoto por equipe que analisa imagens e insere indicações na lente do óculos<br>-> **Redução de desperdicios:** dispensa a visita de técnico in loco e respectivos custos<br>REALIDADE VIRTUAL: análise de serviços de manutenção em produtos em desenvolvimento<br>**-> Processos estáveis e Padronizados:** contribui com a definição do processo<br><br>**-> Melhoria contínua ou Kaizen:** TECNOLOGIAS DIGITAIS contribuem com a melhoria do trabalho e com resultados positivos para a operação |

Fonte: Autor

Devido à inexistência do habilitador inteligência artificial no estudo de caso, não são avaliadas as interações entre este habilitador e lean manufacturing. Desta forma, o recorte das interações entre habilitadores de indústria 4.0 e conceitos lean manufacturing é dado com base em cloud, IoT, big data, CPS, manufatura aditiva, simulação, robotização e tecnologias digitais, tidos como relevantes para a empresa CO.

### 4.4.2 Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0

Para a empresa CO foi constatado que a associação entre lean manufacturing e habilitadores de indústria 4.0 têm predominantemente impacto médio com sete ocorrências somada à uma ocorrência de impacto alto e sem contribuições de impacto baixo. Ocorreram os princípios lean manufacturing: cultura Toyota 4P, melhoria contínua ou kaizen e redução de desperdícios. No Quadro 30 se encontram detalhes sobre as interações entre lean manufacturing e indústria 4.0 para a empresa CO, inclusive evidências.

Quadro 45 - Como lean manufacturing contribui com indústria 4.0 (CO)

| | Habilitadores de Indústria 4.0 | Impacto de associação Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | Tópico avaliado / Lean Manufacturing associado à Indústria 4.0 |
|---|---|---|---|
| Lean Manufacturing | **Cloud**<br>Nuvem | ++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Cloud**<br>**-> cultura Toyota 4P e melhoria contínua ou Kaizen:** através destes princípios os funcionários são encorajados e desafiados à considerarem melhores soluções para o produto, a tecnologia |
| Lean Manufacturing | **IoT**<br>Internet of Things | ++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à IoT**<br>**-> cultura Toyota 4P e melhoria contínua ou Kaizen:** através destes princípios os funcionários são encorajados e desafiados à considerarem melhores soluções para o produto, a tecnologia |
| Lean Manufacturing | **Big Data** | ++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Big Data**<br>**-> cultura Toyota 4P e melhoria contínua ou Kaizen:** através destes princípios os funcionários são encorajados e desafiados à considerarem melhores soluções para o produto, a tecnologia |
| Lean Manufacturing | **CPS** | ++ | contrato personalizado de sistema de manutenção preditiva do produto monitorado pela empresa CO<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à CPS**<br>**-> cultura Toyota 4P e melhoria contínua ou Kaizen:** através destes princípios os funcionários são encorajados e desafiados à considerarem melhores soluções para o produto, a tecnologia |
| Lean Manufacturing | **Manufatura Aditiva** | ++ | confecção de dispositivos para produção em impressão 3D<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Manufatura Aditiva**<br>**-> Melhoria contínua ou Kaizen e Redução de desperdicios:** a busca por melhoria e por redução de desperdícios fomenta o uso de novas tecnologias |
| Lean Manufacturing | **Simulação** | ++ | utilização de sistemas computacionais para simulação de lay-out e produção<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Simulação**<br>**-> Melhoria contínua ou Kaizen e Redução de desperdicios:** a busca por melhoria e por redução de desperdícios fomenta o uso de novas tecnologias |
| Lean Manufacturing | **Robotização** | +++ | aplicações de robô em diversas estações de trabalho na fábrica, como exemplo na aplicação de cola<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Robotização** |
| | **Inteligência Artificial** | | |
| | **Tecnologias Digitais** | ++ | Digitalização, Virtualização, Realidade aumentada, Realidade virtual<br>**Princípio Lean Manufacturing associado à Tecnologias Digitais**<br>**atividades realizadas na Fábrica**<br>DIGITALIZAÇÃO: informações e desenhos técnicos compartilhados entre diferentes usuários e localizações<br>VIRTUALIZAÇÃO: avaliação 3D de processos, equipamentos e lay-outs<br>**atividades realizadas em Serviços**<br>REALIDADE AUMENTADA: uso de óculos 3D por mecânico e suporte remoto por equipe que analisa imagens e insere indicações na lente do óculos<br>REALIDADE VIRTUAL: análise de serviços de manutenção em produtos em desenvolvimento<br><br>**-> Cultura Toyota 4P e Melhoria contínua ou Kaizen:** iniciativas das pessoas em solucionar problemas e concentrar esforços para melhoria contínua são portas de entrada para implementação de TECNOLOGIAS DIGITAIS |

Fonte: Autor

Devido à inexistência do habilitador de indústria 4.0 descrito como inteligência artificial no estudo de caso da empresa CO, não foram avaliadas as interações entre lean manufacturing e este habilitador. Desta forma, o recorte das interações entre conceitos indústria 4.0 e lean manufacturing é dado com os habilitadores de indústria 4.0 descritos como cloud, IoT, big data, CPS, manufatura aditiva, simulação, robotização e tecnologias digitais, tidos como relevantes para a empresa CO.

### 4.4.3 Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0

A avaliação dos desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 para a empresa CO, bem como de aderência ao estudo de caso, se encontram apresentadas no Quadro 31 a seguir.

Quadro 46 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 (CO)

| | Desafios para a implementação enxuta da perspectiva de integração | Soluções fornecidas pela Indústria 4.0 | Nível de aderência |
|---|---|---|---|
| **Dimensões Lean Manufacturing** | **Barreiras** | **Motivações** | |
| **Feedback do fornecedor** | Recursos e conhecimentos limitados | Fabricação colaborativa | ++ |
| | Diferença nos modelos de negócio, operação e práticas de manutenção de dados | Melhores mecanismos de comunicação | ++ |
| | | Sincronização de dados | ++ |
| **JIT realizado pelo fornecedor** | Status de remessa de mercadoria incompleta | Identificação de itens | |
| | Incompatibilidade na quant. mercadoria | Rastreamento sem fio de mercadorias | |
| | Atrasos inesperados durante o transporte | Realocação inteligente de pedido | |
| **Desenvolvimento do fornecedor** | Recursos e conhecimentos inadequados | Interfaces padronizadas | +++ |
| | Compatibilidade equipam. entre organizações | Organizações virtuais - cooperação sinérgica | +++ |
| **Envolvimento do cliente** | Pouca flexibilidade para alteração do produto | Período de congelamento prolongado | +++ |
| | Relação entre necessidades e funções | Implementação Qualidade em grande volume | +++ |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes | Análise de uso | +++ |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimentomaterial | + |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban | + |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real | ++ |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação | ++ |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada | ++ |
| **Redução de tempo de setup** | Adaptação processo baseado experiênc. humana | Auto-otimização e aprendizado de máquina | |
| | | comunicação da peça em processo | |
| **TPM - Total Productive Maintenance** | Nenhum controle de avaria de máquina | Comunicação peça-máquina | |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas | Auto avaliação de manutenção | |
| | | Controle preditivo de manutenção | |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina | ++ |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada | ++ |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos | ++ |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feddback inteligentes | +++ |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador | +++ |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada | +++ |

Fonte: Autor

Em sequência, se encontra o recorte das dimensões lean manufacturing relevantes para a empresa CO que são feedback do fornecedor, desenvolvimento do fornecedor, envolvimento do cliente, produção puxada, fluxo contínuo e CEP e ainda são apresentados síntese de desafios

lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, nível de aderência e evidências para realização de avaliação detalhada, representados no Quadro 32.

Quadro 47 - Desafios lean e soluções indústria 4.0 - avaliação detalhada (CO)

| Dimensões Lean Manufacturing | Desafio Lean Manufacturing / Solução Indústria 4.0 | Nível de aderência | Evidência |
|---|---|---|---|
| Feedback do fornecedor | Recursos e conhecimentos limitados / Fabricação colaborativa | ++ | colaboração entre empresa e parceiros |
| | Diferentes negócios, operações e dados / melhor comunicação | ++ | mecanismos de comunicação/dados realizados de forma efetiva |
| | Diferentes negócios, operações e dados / sincronização de dados | ++ | |
| Desenvolvimento do fornecedor | Recursos e conhecimentos inadequados / Interfaces padronizadas | +++ | interação entre plataformas, comunização de protocolos, padronização de comunicação, dados baseados em interfaces |
| | Compatibilidade entre organizações / Organizações virtuais - sinergia | +++ | |
| Envolvimento do cliente | Inflexibilidade alteração do produto / Período de congelamento prolongado | +++ | produto flexível e com concepção para longo ciclo de vida |
| | Relação entre necessidades e funções / Implementação qualidade volumosa | +++ | soluções comuns para diversas aplicações, como realidade virtual |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes / Análise de uso | +++ | sistema de manutenção preditiva monitora hábitos |
| Produção puxada | Rastreamento inadequado material / monitoramento reabastecimento | + | casos pontuais de melhoria em reabastecimento / kanban |
| | Alteração no cronograma de produção / agendam. e atualização kanban | + | |
| Fluxo contínuo | Erros na contagem de inventário / rastreamento em tempo real | ++ | rastreamento do produto ao longo da linha |
| | Escassez de capacidade / subcontratação | ++ | subcontratações acontecem principalmente em logística/manutenção |
| | Sistemas de controle centralizados / decisões descentralizadas | ++ | operadores tomam decisões dentro de limites pré-estabelecidos |
| CEP - Controle Estatístico de Processo | Ignorância de operadores / Comunicação peça-máquina | ++ | rastreamento do produto ao longo da linha |
| | não rastreamento variações processo / Interface homem-máquina aprimorada | ++ | robotização é amigável ao operador |
| | não rastreamento variações processo / Rastream./integração/gerenc. processos | ++ | desvios e ajustes são informados |
| Envolvimento de funcionários | Mecanismos de feedback inadequados / dispositivos de feedbacks inteligentes | +++ | apoio sistêmico |
| | Práticas de avaliação de desempenho / sistema de apoio ao trabalhador | +++ | |
| | Monotonia no trabalho / interface homem-máquina aprimorada | +++ | diversidade nas atividades |

Fonte: Autor

Observa-se que desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 tem aderência predominantemente média com 9 ocorrências, com 2 ocorrências de baixa aderência e 8 de alta aderência, num total de 19 avaliações.

### 4.4.4 Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing

Para o estudo de caso da empresa CO, foi avaliado o impacto indústria 4.0 e lean manufacturing nos direcionadores de valor e acrescentados comentários, conforme apresentado no Quadro 33. Assim, é possível identificar que todos os direcionadores de valor são representativos para a empresa CO.

Quadro 48 - Direcionadores de valor (CO)

| Direcionador de valor | Impacto | Comentários |
|---|---|---|
| Utilização de ativos | +++ | impacto expressivo em serviços |
| Inventário | ++ | |
| Recursos e processos | +++ | impacto expressivo em serviços |
| Combinação de oferta e demanda | ++ | flexibilidade no atendimento ao mercado |
| Mão-de-obra | ++ | impacto significativo em serviços, na fábrica se manteve |
| Qualidade | ++ | alta qualidade para o segmento tanto na fábrica quanto em serviços |
| Serviço e pós venda | +++ | tecnologias com pouco impacto na empresa, com alto impacto em serviços e incremento nos resultados |
| Time to market<br>tempo entre concepção do produto e início de venda | + | baixo impacto frente ao montante de tecnologias empregadas |

Fonte: Autor

Indústria 4.0 e lean manufacturing têm baixo impacto no direcionador de valor descritos como time to Market, médio impacto nos direcionadores inventário, combinação de oferta e demanda, mão-de-obra e qualidade e alto impacto em utilização dos ativos, recursos e processos e também em serviço e pós venda.

### 4.4.5 Motivações, barreiras e stakeholders

Referente à motivações, barreiras e stakeholders sobre interações indústria 4.0 e lean manufacturing, se encontra a seguir a avaliação das informações levantadas no estudo de caso sobre a empresa CO.

#### *4.4.5.1 Motivações*

No estudo de caso da empresa CO para o que se refere à indústria 4.0 e lean manufacturing, são tidas como motivações as reduções de custos tanto dos produtos como da operação, incremento do desempenho da operação, ergonomia e bem estar dos funcionários. Neste momento peculiar de pandemia de COVID 19, a própria pandemia também é tida como uma motivação, em que o uso de tecnologias digitais de forma repentina e massiva pelos funcionários no desempenho de suas funções por meio do regime de trabalho de home office faz com que seja possível manter o distanciamento social, reduzir contaminações e manter a operação.

#### *4.4.5.2 Barreiras*

Para a empresa CO, não foram identificadas barreiras para a implementação de indústria 4.0 e lean manufacturing. A receptividade destas ferramentas para melhoria da operação torna as ações ilimitadas tomando como base benefícios justificáveis.

#### *4.4.5.3 Stakeholders*

Para a avaliação do estudo de caso da empresa CO, é considerado um conjunto de stakeholders que fomentam e proporcionam apoio de médio impacto para o que se refere às inovações em lean manufacturing e indústria 4.0, apresentado a seguir com justificativas:

1. Corporação: fomenta o auto desenvolvimento;
2. Mercado: a definição de volume é importante para a definição de estratégia;
3. Engenharia: de forma indireta, de forma a sair do tradicional e convencional com a implementação de tecnologias;
4. Academia: tem pouca influência;
5. Fornecedor: por meio de propostas de soluções;
6. Governo: de forma indireta;
7. Concorrência: influencia decisões de estratégia;
8. Vendas e marketing: é o termômetro de como atender ao cliente da melhor forma;
9. Própria iniciativa: por conhecimento de inovações no mercado e de motivadores e necessidades da empresa;

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Preliminarmente, é possível afirmar que foi obtido o êxito em encontrar pontos relevantes entre os estudos de caso e que são comuns entre as empresas, o que tornou o trabalho viável e enriqueceu a compreensão sobre as interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing.

Nesta sessão é realizada a análise cruzada para o que se refere às interações de lean manufacturing em habilitadores de indústria 4.0 e vice versa. Assim, são realizadas as seguintes análises cruzadas:

1. Análise cruzada: Contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0;
2. Análise cruzada: Contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing;
3. Análise cruzada: Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0;
4. Análise cruzada: Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing;
5. Análise cruzada: Stakeholders, barreiras e motivações.

A realização de cada análise cruzada seguiu um processo de 3 passos, descrito conforme a seguir: 1) foram compilados os resultados de cada empresa; 2) foram obtidos os pontos comuns para cada empresa entre os estudos de caso, estes frutos do recorte delineado que apresenta os pontos relevantes para cada empresa em avaliação; 3) por fim foi realizada a análise cruzada detalhada dos estudos de casos, que é a comparação do resultado entre as empresas, com avaliações sobre os resultados e oportunas inserções.

## 5.1 ANÁLISE CRUZADA: CONTRIBUIÇÃO DE INDÚSTRIA 4.0 EM LEAN MANUFACTURING

Referente à análise cruzada sobre a contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing, a compilação dos resultados dos estudos de casos se apresenta no Quadro 34.

Quadro 49 - Análise cruzada: contribuição indústria 4.0 em lean

| | | Impacto de associação de Indústria 4.0 com Lean Manufacturing | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Indústria 4.0 tecnologia habilitadora | | RET | AUT | EMB | CO |
| Cloud - Nuvem | | +++ | | ++ | +++ |
| IoT Internet of Things | | ++ | ++ | ++ | +++ |
| Big Data | Lean Manufacturing | | | ++ | +++ |
| CPS | | +++ | ++ | ++ | +++ |
| Manufatura Aditiva | | | +++ | | +++ |
| Simulação | | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Robotização | | ++ | +++ | +++ | +++ |
| Inteligência Artificial | | | | | |
| Tecnologias Digitais | | | ++ | | +++ |

Fonte: Autor

Assim, é possível observar que o recorte destaca os pontos comuns e relevantes para a associação de indústria 4.0 e lean manufacturing, com destaque para os habilitadores de descritos como IoT, CPS, simulação e robotização para todas as empresas. A seguir se encontra o recorte para a análise cruzada detalhada dos estudos de casos sobre contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing, conforme exposto no Quadro 35.

Quadro 50 - Análise cruzada detalhada: contribuição indústria 4.0 em lean

| | | Impacto de associação de Indústria 4.0 com Lean Manufacturing | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Indústria 4.0 tecnologia habilitadora | | RET | AUT | EMB | CO |
| IoT Internet of Things | Lean Manufacturing | ++ | ++ | ++ | +++ |
| CPS | | +++ | ++ | ++ | +++ |
| Simulação | | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Robotização | | ++ | +++ | +++ | +++ |

Fonte: Autor

Como obtenção do recorte e relevância para as empresas, é detalhado como a indústria 4.0 contribui lean manufacturing. Os habilitadores de indústria 4.0 tem impacto alto em lean manufacturing, porém não de forma uniforme para todas as empresas. IoT tem impacto alto

para a empresa CO e impacto médio para as demais. CPS tem impacto alto para RET e CO e médio para as demais. Simulação tem impacto alto para todas, exceto para EMB que tem impacto médio. Robotização tem impacto alto para todas as empresas, exceto para RET que apresenta impacto médio.

Portanto, lean manufacturing apresenta considerável contribuição em indústria 4.0, tomando como base que 7 contribuições ou 44% delas é de impacto médio e 9 ou 56% é de alto impacto, de um total de 16 contribuições. Observa-se também que não há correlação direta de indústria 4.0 e lean manufacturing com o segmento da empresa ou porte, que é uma questão de interesse ou foco quanto à implementação e operacionalização de ambos.

Por fim, de forma breve são avaliados os destaques não apresentados no recorte. O habilitador de indústria 4.0 descrito como médio impacto em lean manufacturing para a empresa EMB e alto impacto para as empresas RET e CO. Big data tem médio impacto para EMB e alto para CO, para o que se refere à lean manufacturing. Manufatura aditiva tem alto impacto em lean manufacturing para as empresas AUT e CO. Tecnologias digitais tem médio impacto para a empresa AUT e alto para a empresa CO em termos de lean manufacturing.

## 5.2 ANÁLISE CRUZADA: CONTRIBUIÇÃO DE LEAN MANUFACTURING EM INDÚSTRIA 4.0

Referente à análise cruzada sobre a contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0, a compilação dos resultados dos estudos de casos se apresenta no Quadro 36.

Quadro 51 - Análise cruzada: contribuição lean em indústria 4.0

| | | Impacto de associação de Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Habilitadores de Indústria 4.0 | RET | AUT | EMB | CO |
| Lean Manufacturing | Cloud - Nuvem | + | | ++ | ++ |
| | IoT - Internet of Things | ++ | ++ | ++ | ++ |
| | Big Data | | | +++ | ++ |
| | CPS | ++ | ++ | ++ | ++ |
| | Manufatura Aditiva | | +++ | | ++ |
| | Simulação | ++ | +++ | +++ | ++ |
| | Robotização | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | Inteligência Artificial | | | | |
| | Tecnologias Digitais | | ++ | | ++ |

Fonte: Autor

Assim, é possível observar que o recorte destaca os pontos comuns e relevantes para a associação de lean manufacturing e habilitadores de indústria 4.0 descritos como IoT, CPS, simulação e robotização para todas as empresas. A seguir se encontra o recorte para a análise cruzada detalhada dos estudos de casos sobre contribuição de lean manufacturing em indústria 4.0, conforme exposto no Quadro 37.

Quadro 52 - Análise cruzada detalhada: contribuição lean em indústria 4.0

| | | Impacto de associação de Lean Manufacturing com Indústria 4.0 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Habilitadores de Indústria 4.0 | RET | AUT | EMB | CO |
| Lean Manufacturing | IoT - Internet of Things | ++ | ++ | ++ | ++ |
| | CPS | ++ | ++ | ++ | ++ |
| | Simulação | ++ | +++ | +++ | ++ |
| | Robotização | +++ | +++ | +++ | +++ |

Fonte: Autor

Como obtenção do recorte e relevância para as empresas, é detalhado como lean manufacturing contribui com os habilitadores de indústria 4.0. Lean manufacturing tem impacto significativo na contribuição em robotização, em que é apresentado alto impacto nas quatro

empresas avaliadas. Simulação sofre médio impacto para as empresas RET e CO e alto impacto para as empresas AUT e EMB. Por fim, lean manufacturing têm contribuição de médio impacto em IoT e CPS para as quatro empresas.

Portanto, lean manufacturing apresenta considerável contribuição em indústria 4.0, tomando como base que 10 contribuições ou 63% delas é de impacto médio e 6 ou 37% é de alto impacto, de um total avaliado de 16 contribuições. Observa-se ainda que não há correlação direta de indústria 4.0 e lean manufacturing com o segmento da empresa ou porte, que é uma questão de interesse ou foco quanto à implementação e operacionalização de ambos.

Por fim, de forma breve são avaliados as interações não apresentadas no recorte. Lean manufacturing tem baixo impacto para o habilitador Cloud para RET e de médio impacto para EMB e CO, também em big data como médio para CO e alto para BEM, assim como manufatura aditiva apresenta médio para CO e alto para AUT e tecnologias digitais médio para ambas AUT e CO. O impacto de lean manufacturing no habilitador inteligência artificial não é avaliado por não constar nas empresas.

## 5.3 ANÁLISE CRUZADA: DESAFIOS DE LEAN MANUFACTURING E SOLUÇÕES DE INDÚSTRIA 4.0

Para a realização desta análise, foi considerada a avaliação feita por Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, (2016) em que consideraram dez dimensões lean manufacturing para avaliação de interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing, com a apresentação de desafios para a implementação enxuta a partir da perspectiva de interação também caracterizado como desafios de lean manufacturing e soluções fornecidas pela indústria 4.0 também caracterizado como soluções de indústria 4.0. Assim, a análise cruzada dos estudos de caso referente à nível de aderência das empresas para Desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 se encontra no Quadro 38.

Quadro 53 - Análise cruzada: desafios lean e soluções indústria 4.0

| | Desafios para a implementação enxuta da perspectiva de integração | Soluções fornecidas pela Indústria 4.0 | Nível de aderência Desafio Lean Manufacturing / Solução Indústria 4.0 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dimensões Lean Manufacturing** | **Barreiras** | **Motivações** | **RET** | **AUT** | **EMB** | **CO** |
| **Feedback do fornecedor** | Recursos e conhecimentos limitados | Fabricação colaborativa | | ++ | | ++ |
| | Diferença nos modelos de negócio, operação e práticas de manutenção de dados | Melhores mecanismos de comunicação | | ++ | | ++ |
| | | Sincronização de dados | | ++ | | ++ |
| **JIT realizado pelo fornecedor** | Status de remessa de mercadoria incompleta | Identificação de itens | | ++ | | |
| | Incompatibilidade na quant. mercadoria | Rastreamento sem fio de mercadorias | | ++ | | |
| | Atrasos inesperados durante o transporte | Realocação inteligente de pedido | | ++ | | |
| **Desenvolvimento do fornecedor** | Recursos e conhecimentos inadequados | Interfaces padronizadas | | +++ | | +++ |
| | Compatibilidade equipam. entre organizações | Organizações virtuais - cooperação sinérgica | | +++ | | +++ |
| **Envolvimento do cliente** | Pouca flexibilidade para alteração do produto | Período de congelamento prolongado | | | | +++ |
| | Relação entre necessidades e funções | Implementação Qualidade em grande volume | | | | +++ |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes | Análise de uso | | | | +++ |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimentomaterial | ++ | +++ | + | + |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban | + | +++ | + | + |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real | + | +++ | ++ | ++ |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação | +++ | ++ | + | ++ |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada | ++ | ++ | ++ | ++ |
| **Redução de tempo de setup** | Adaptação processo baseado experiênc. humana | Auto-otimização e aprendizado de máquina | | +++ | | |
| | | comunicação da peça em processo | | +++ | | |
| **TPM - Total Productive Maintenance** | Nenhum controle de avaria de máquina | Comunicação peça-máquina | | + | +++ | |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas | Auto avaliação de manutenção | | +++ | ++ | |
| | | Controle preditivo de manutenção | | +++ | ++ | |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina | ++ | ++ | +++ | ++ |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada | ++ | ++ | +++ | ++ |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos | ++ | ++ | +++ | ++ |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feddback inteligentes | ++ | + | +++ | +++ |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador | +++ | ++ | +++ | +++ |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada | ++ | +++ | +++ | +++ |

Fonte: Autor

Assim, foi dado o recorte das dimensões mais relevantes constatadas nos estudos de caso com respectivos níveis de aderência para a análise cruzada detalhada para desafios de lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, conforme Quadro 39.

Quadro 54 - Análise cruzada detalhada: desafios lean e soluções indústria 4.0

| | Desafios Lean Manufacturing | Soluções de Indústria 4.0 | Nível de aderência Desafios Lean Manufacturing e Soluções Indústria 4.0 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dimensões Lean Manufacturing** | **Barreiras** | **Motivações** | **RET** | **AUT** | **EMB** | **CO** |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimentomaterial | ++ | +++ | + | + |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban | + | +++ | + | + |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real | + | +++ | ++ | ++ |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação | +++ | ++ | + | ++ |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada | ++ | ++ | ++ | ++ |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina | ++ | ++ | +++ | ++ |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada | ++ | ++ | +++ | ++ |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos | ++ | ++ | +++ | ++ |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feddback inteligentes | ++ | + | +++ | +++ |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador | +++ | ++ | +++ | +++ |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada | ++ | +++ | +++ | +++ |

Fonte: Autor

Dado o recorte, a análise cruzada detalhada toma como base as dimensões lean manufacturing descritas como produção puxada, fluxo contínuo, CEP e Envolvimento dos funcionários.

Assim, foi verificado que não há aderência uniforme entre dimensões e empresas. A empresa RET tem predominância de médio impacto às dimensões de lean manufacturing, AUT também de médio impacto, EMB de alto impacto e CO de médio impacto.

Considerando 44 relacionamentos de dimensões lean manufacturing com os estudos de caso, 8 ocorrências ou 18% são de nível de aderência de baixo impacto, 23 ocorrências ou 52% são de médio impacto e 13 relacionamentos ou 30% são de alto impacto.

Desta forma, a avaliação das dimensões lean manufacturing referente à desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 apresenta-se com predominância de aderência de médio impacto, seguida por alto impacto e por fim por baixo impacto.

## 5.4 ANÁLISE CRUZADA: DIRECIONADORES DE VALOR PARA INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

A análise cruzada para os estudos de caso tem como base a avaliação feita em cada estudo de caso considerando os seguintes direcionadores de valor: utilização de ativos, inventário, recursos e processos, combinação de oferta x demanda, mão-de-obra, qualidade, serviço e pós-venda, time to market que é o tempo entre concepção do produto e início de venda. A compilação dos resultados apresentados em cada empresa se encontra no Quadro 40.

Quadro 55 - Análise cruzada: direcionadores de valor

| | Avaliação do nível de aderência para direcionadores de valor | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Direcionador de valor** | **RET** | **AUT** | **EMB** | **CO** |
| Utilização de ativos | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Inventário | + | +++ | + | ++ |
| Recursos e processos | ++ | +++ | ++ | +++ |
| Combinação de oferta e demanda | + | ++ | ++ | ++ |
| Mão-de-obra | ++ | ++ | ++ | ++ |
| Qualidade | ++ | +++ | + | ++ |
| Serviço e pós-venda | | | + | +++ |
| Time to market - tempo entre concepção do produto e início de venda | ++ | +++ | | + |

Fonte: Autor

A partir da utilização do critério de recorte, foram obtidos como de maior relevância para as empresas os direcionadores de valor descritos como utilização de ativos, inventário, recursos e processos, combinação de oferta x demanda, mão-de-obra e qualidade, apresentados Quadro 41 para análise cruzada detalhada.

Quadro 56 - Análise cruzada detalhada: direcionadores de valor

| | Avaliação do nível de aderência para direcionadores de valor | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Direcionador de valor** | **RET** | **AUT** | **EMB** | **CO** |
| Utilização de ativos | +++ | +++ | ++ | +++ |
| Inventário | + | +++ | + | ++ |
| Recursos / processos | ++ | +++ | ++ | +++ |
| Combinação de oferta x demanda | + | ++ | ++ | ++ |
| Mão-de-obra | ++ | ++ | ++ | ++ |
| Qualidade | ++ | +++ | + | ++ |

Fonte: Autor

Assim, o nível de aderência de direcionadores de valor junto às empresas de um modo geral não é regular, sendo uma exceção o direcionador de valor mão-de-obra que se apresenta como de aderência média para todas as empresas.

Tomando-se como base as 24 avaliações efetuadas, têm-se que o nível de aderência é baixo com 4 ocorrências ou 17% das avaliações, médio para 13 ou 54% das avaliações e alto para 7 ocorrências e 29% das avaliações.

Desta forma, conclui-se que os direcionadores de valor tiveram predominância de médio nível de aderência, seguido por de alto e posteriormente por baixo nível de aderência.

## 5.5 ANÁLISE CRUZADA: MOTIVAÇÕES, BARREIRAS E STAKEHOLDER

Como continuidade da avaliação sobre interações indústria 4.0 e lean manufacturing, foram realizadas as análises cruzadas referentes à barreiras e motivações stakeholders, para os estudos de caso, a seguir.

A apresentação de barreiras, motivações e stakeholders no formato de Quadros tem como objetivo proporcionar uma avaliação cruzada consistente entre as empresas e identificar os pontos de maior relevância obtidos na avaliação dos estudos de casos.

### 5.5.1 Análise cruzada: barreiras

A análise cruzada de barreiras inicialmente consiste em sua constatação junto às empresas, conforme apresentado no Quadro 42

Quadro 57 - Análise cruzada: barreiras

| | **Barreiras** |
|---|---|
| **RET** | - Novos habilitadores em base lean restritos ao orçamento da filial local<br>- Taxa cambial<br>- Estratégia da corporação para filial local |
| **AUT** | - a negociação com representação dos empregados e sindicato |
| **EMB** | - situação financeira da empresa |
| **CO** | - não há |

Fonte: Autor

Não foram identificados com exatidão pontos comuns. Para a empresa RET e EMB, há uma convergência no sentido do destino de recursos financeiros para as empresas, em que para a empresa RET foi encontrada a estratégia da corporação como barreira assim como limitações de orçamento e para a empresa EMB foi considerada a situação financeira da empresa como prerrogativa de não adotar indústria 4.0 e lean manufacturing de maneira extensiva. Barreiras como taxa cambial e negociações com sindicato também foram descritas pelas empresas RET e EMB respectivamente. Tido como surpresa e curioso, a empresa CO apresentou que não há barreiras, que a empresa é totalmente aberta para inovações desde haja a melhoria na operação e estejam financeiramente baseados.

### 5.5.3 Análise cruzada: motivações

A análise cruzada de motivações toma como base as informações obtidas junto às empresas e consideradas para os respectivos estudos de casos, conforme apresentado em sequência no Quadro 43.

Quadro 58 - Análise cruzada: motivações

| | RET | AUT | EMB | CO |
|---|---|---|---|---|
| Motivações | Redução de custos | Redução de custo | Redução de custo | Redução de custo |
| | | Aumento da qualidade | Aumento da qualidade | |
| | | Perpetuação do negócio | | |
| | | Assegurar a competitividade | | incremento do desempenho da |
| | | Busca por inovações | | |
| | Pessoas com capacitação técnica e automotivadas | Processos seguros | | ergonomia e bem estar dos funcionários |
| | | Processos eficazes | | |

Fonte: Autor

Assim, a motivação comum entre as empresas é a redução de custos, todas apresentaram este tópico como de maior relevância. Para as empresas AUT e EMB é comum o aumento da qualidade.

Outras motivações pontuais encontradas entre as empresas são pessoas com capacitação técnica e motivadas, perpetuação do negócio, assegurar competitividade, busca por inovações,

processos seguros, processos eficazes, incremento do desempenho da operação e por último ergonomia e bem estar dos funcionários.

Portanto, a motivação mais relevante e comum para as empresas é redução de custo, seguida por aumento da qualidade, entre outros.

### 5.5.1 Análise cruzada: stakeholder

A análise cruzada de stakeholder consiste na avaliação junto às empresas da constatação e classificação de stakeholder. Foi também qualificado o nível de apoio considerado quanto à implementação e operacionalização de indústria 4.0 e lean manufacturing, conforme apresentado no Quadro 44.

Quadro 59 - Análise cruzada: stakeholder

| | RET | AUT | EMB | CO |
|---|---|---|---|---|
| **Apoio da empresa para implementação de Lean Manufacturing e Indústria 4.0** | ++ | +++ | ++ | +++ |
| **Stakeholder** | Corporação | Corporação | Corporação | Corporação |
| | Mercado | | Mercado | Mercado |
| | | Engenharia | Engenharia | Engenharia |
| | | Academia | Academia | Academia |
| | | Fornecedor | | Fornecedor |
| | subsidiária local | Sindicato | | Concorrência |
| | | | | Governo |
| | | | | Vendas e Marketing |
| | | | | Própria Iniciativa |

Fonte: Autor

Assim, observa-se que o nível de apoio para as empresas RET e EMB é médio ao passo que para as empresas AUT e CO é alto.

O stakeholder corporação é apresentado para todas as empresas. Dentre os mais comuns, o stakeholder mercado á apresentado para as empresas RET, EMB e CO, engenharia e academia para AUT, BEM e CO e fornecedor para AUT e CO. Outros stakeholders surgem pulverizados entre as empresas, que são: subsidiária local, sindicato, concorrência, governo, vendas e marketing e própria iniciativa.

Desta forma, o stakeholder mais importante para todas as empresas é corporação, seguido pelos stakeholders mercado, engenharia, academia e fornecedor distribuídos de forma aleatória nas empresas.

A partir da realização da revisão da literatura, foi possível identificar os fatores de pesquisa conforme Quadro 11 avaliados neste trabalho, tomando como base o conceito de relacionamentos estabelecido por Buer, Strandhagen e Chan (2018) apresentado na Figura 5.

A sintetização das principais constatações, como resultado da realização de análises cruzadas, se encontram expostas no Quadro 45.

Quadro 60 - Sintetização de constatações

| | Contribuição de Indústria 4.0 em Lean Manufacturing | Contribuição de Lean Manufacturing em Indústria 4.0 | Desafios lean manufacturing e soluções indústria 4.0 | Direcionais de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing |
|---|---|---|---|---|
| baixo / baixa | | | 18% | 17% |
| médio / média | 44% | 63% | 52% | 54% |
| alto / alta | 56% | 37% | 30% | 29% |

Fonte: Autor

Desta forma, é possível observar que a contribuição de indústria 4.0 em lean manufacturing é de 56% de constatações classificadas como alta, de 44% como média e de nenhuma como baixa, o que leva a concluir que para os habilitadores de indústria 4.0 e princípios de lean manufacturing considerados, a indústria 4.0 impacta positivamente em lean manufacturing para todas as empresas pesquisadas.

De forma análoga, referente à contribuição de lean em indústria 4.0, foram obtidos 37% das constatações classificadas como altas, 63% como médias e nenhuma como baixa, o que leva a concluir que para os princípios de lean manufacturing e habilitadores de indústria 4.0 considerados, lean manufacturing impacta positivamente em indústria 4.0 para todas as empresas pesquisadas. É importante observar que o impacto de indústria 4.0 em lean manufacturing é mais significativo que o impacto de lean manufacturing em indústria 4.0. Esta é uma das contribuições deste trabalho com avaliação focada para empresas brasileiras não atingida e sugerida por Tortorella e Fettermann (2017) e assim como concluído junto à empresas

alemãs por Dombrowski, Richter e Krenkel (2017) e também por Wagner, Herrmann e Thiede (2017).

Referente à aderência dos desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0 proposto por Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), observa-se que 52% deles apresentaram aderência média, 30% aderência alta e 18% aderência baixa para as empresas pesquisadas. Desta foram, a conclusão é que as empresas pesquisadas apresentaram boa aderência ao exposto.

Sobre direcionadores de valor e com base nas métricas apontadas por Karre et al (2017), conclui-se que 54% apresentam médio nível de aderência, 29% alto nível de aderência e 17% baixo nível de aderência. Assim, entende-se que indústria 4.0 e lean manufacturing impactam de forma significativa e positiva nos indicadores das empresas pesquisadas

Considerando as motivações mencionadas por Dalenogare et al. (2018), redução de custo é a motivação comum encontrada pelas empresas seguida por aumento da qualidade em algumas empresas. Sobre barreiras, mesmo considerando aquelas mencionadas por CNI (2016), não foram identificadas com exatidão barreiras comuns nas empresas estudadas, porém há um viés de dificuldade com relação à situação financeira e estratégia corporativa. Adicionalmente obtido que o stakeholder de indústria 4.0 e lean manufacturing é a própria corporação, seguido por mercado, engenharia, academia e fornecedor que foram constatados em algumas empresas.

# 6 CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho é estudar as interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing em empresas que possuem as duas metodologias implementadas. Para atender a este objetivo, optou-se por estudo de múltiplos casos com abordagem qualitativa, realizado nas filiais brasileiras de quatro empresas multinacionais de médio e grande porte.

Não foi possível estabelecer nenhuma relação da implementação do lean manufacturing com o porte das empresas pesquisadas. As empresas RET (médio porte) e AUT (grande porte) foram as que apresentaram os índices mais altos de implementação. Já as empresas CO (grande porte) e EMB (médio porte) apresentaram níveis de implementação inferiores.

Com relação ao nível de implementação da indústria 4.0 a empresa CO foram identificados 8 habilitadores já implementados. Na sequência as empresas AUT (médio porte) e EMB (médio porte) apresentaram seis habilitadores já implementados. Por fim, na empresa RET foram identificados apenas 5 habilitadores implementados.

Foi constado uma contribuição expressiva da indústria 4.0 na metodologia lean manufacturing, principalmente que diz respeito a robotização, simulação, IoT e CPS. Também foram identificadas contribuições da metodologia lean manufacturing na indústria 4.0 principalmente na robotização. Também foi avaliado o nível de aderência das dimensões do lean manufacturing propostas por Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), sendo que as dimensões em comum mais estabelecidas nas quatro empresas foram produção puxada, fluxo contínuo, CEP e envolvimento dos funcionários.

Com relação às barreiras, as empresas pesquisadas não apresentaram barreiras alinhadas às propostas por CNI (2016). Apenas a empresa RET apresentou a estrutura corporativa como barreira relativa à implementação de novos habilitadores. O principal fator motivador apresentado pelas quatro empresas foi a redução de custos operacionais.

Uma limitação desta pesquisa é a escolha do método de estudo de caso, que não permite uma generalização dos resultados obtidos. Os resultados desta pesquisa servem de ponto inicial para outras pesquisas no tema, como por exemplo, a realização de outros estudos de caso em setores industriais diferentes. Como sugestão de pesquisa futura, fica a recomendação de uma pesquisa quantitativa realizada por meio de um survey envolvendo muitas empresas de todo o Brasil, tomando como base as empresas que constam no banco de dados de CNI (2016).

# REFERÊNCIAS


ABDI – Agência Brasileira de desenvolvimento Industrial. Inovação, manufatura avançada e o futuro da indústria - uma contribuição ao debate sobre as políticas de desenvolvimento produtivo, 2017.

AHMAD, M. F. et al. Relationship of TQM and business performance with mediators of SPC, lean production and TPM. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 65, p. 186-191, 2012.

ALMADA-LOBO, F. View of The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 3, n. 4, p. 16-21, 2015.

ANTONIOLLI, I. et al. Standardization and optimization of an automotive components production line. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1120-1127, 2017.

ARONSSON, Hakan; ABRAHAMSSON, Mats; SPENS, Karen. Developing lean and agile health care supply chains. **Supply Chain Management**, v. 16, n. 3, p. 176–183, 2011.

ASHTON, Kevin et al. That 'internet of things' thing. **RFID Journal**, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.

BAHRIN, Mohd Aiman Kamarul et al. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-13, p. 137-143, 2016.

BESSANT, John; FRANCIS, David. Developing strategic continuous improvement capability. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 11, p. 1106-1119, 1999.

BOGUE, Robe. Robots that interact with humans: A review of safety technologies and standards. **Industrial Robot**, v. 44, n. 4, p. 395–400, 2017.

BOYES, Hugh et al. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in Industry**, v. 101, p. 1–12, 2018.

BRAGANÇA, Sara; COSTA, Eric. An application of the lean production tool standard work. **Jurnal Teknologi**, v. 76, n. 1, p. 47–53, 2015.

BRENNEN, J. Scott; KREISS, Daniel. Digitalization. The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy, p. 1-11, 2016.

BRETTEL, Malte et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

BUER, Sven-Vegard; STRANDHAGEN, Jan Ola; CHAN, Felix TS. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924-2940, 2018.

CAGGIANO, Alessandra; TETI, Roberto. Modelling, analysis and improvement of mass and small batch production through advanced simulation tools. **Procedia CIRP**, v. 12, p. 426-431, 2013.

CHALAL, Malik; BOUCHER, Xavier; MARQUÈS, Guillaume. Decision support system for servitization of industrial SMEs: a modelling and simulation approach. **Journal of Decision Systems**, v. 24, n. 4, p. 355-382, 2015.

CHEN, Hsinchun; CHIANG, Roger H. L.; STOREY, Veda C. Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact**. Mis Quarterly**, v. 36, n. 4, p. 1165–1188, 2012.

CHEN, Toly; LIN, Yu-Cheng. Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3D printing: a review. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 32, n. 4, p. 394-413, 2017.

CHIARELLO, Filippo et al. Extracting and mapping industry 4.0 technologies using Wikipedia. **Computers in Industry**, v. 100, p. 244-257, 2018.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. Industry 4.0: a new challenge for Brazilian industry. CNI Indicators, 2016.

___. Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas - Síntese dos Resultados. CNI Indicators, 2018.

___. Riscos e oportunidade para as micro e pequenas empresas brasileiras diante de inovações disruptivas. CNI Indicators, 2019.

COLEMAN, B. Jay; REZA, Vaghefi M. Heijunka (?): a key to the Toyota production system. **Production and Inventory Management Journal**, v. 35, n. 4, p. 31–35, 1994.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2006.

DAHLGAARD-PARK, Su Mi; PETTERSEN, Jostein. Defining lean production: some conceptual and practical issues. **The TQM Journal**, v. 21, n. 2, p. 127-142, 2009.

DALENOGARE, Lucas Santos et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial perforfmance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383-394, 2018.

DAMIANI, Lorenzo et al. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 624-630, 2018.

DAVE, Bhargav et al. Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. **Automation in Construction**, v. 61, p. 86-97, 2016.

DENNIS, Pascal. Produção Lean Simplificada, 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

DOMBROWSKI, Uwe; RICHTER, Thomas; KRENKEL, Philipp. Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean production systems: A use cases analysis. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1061-1068, 2017.

DOPICO, M. et al. A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view. In: **Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI).** The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2016.

DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. Industrie 4.0: Hit or hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

EAIDGAH, Youness et al. Visual management, performance management and continuous improvement. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, n. 2, p. 187-210, 2016.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

FATORACHIAN, Hajar; KAZEMI, Hadi. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 8, p. 633-644, 2018.

FERRARI, Emilio et al. Motion Analysis System for the digitalization and assessment of manual manufacturing and assembly processes. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 411–416, 2018.

FETTERMANN, Diego Castro et al. How does Industry 4.0 contribute to operations management? **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 35, n. 4, p. 255-268, 2018.

GOLAN, Maya; COHEN, Yuval; SINGER, Gonen. A framework for operator–workstation interaction in Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, p. 1-12, 2019.

GOODSON, R. Eugene. Read a plant-fast. **Harvard Business Review**, v. 80, n. 5, p. 105-113, 2002.

HARRISON, Robert; VERA, Daniel; AHMAD, Bilal. Engineering methods and tools for cyber–physical automation systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 104, n. 5, p. 973-985, 2016.

HINCKLEY, Clifford Martin. Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 12, n. 5, p. 223–230, 2007.

HORVATH, Dóra; SZABO, Roland Zs. Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 146, p. 119-132, 2019.

HUANG, Z.; PALVIA, P. ERP implementation issues in advanced and developing countries. **Business Process Management Journal**, v. 7, n. 3, p. 276–284, 2001.

IMAI, M. **Kaizen – a estratégia para o sucesso competitivo**. São Paulo: IMAM, 1994.

IMAI, M. **Gemba-Kaizen**: estratégias e técnicas do Kaizen no piso de fábrica. São Paulo: IMAM, 1996.

ISAKSSON, Alf J.; HARJUNKOSKI, Iiro; SAND, Guido. The impact of digitalization on the future of control and operations. **Computers & Chemical Engineering**, v. 114, p. 122-129, 2018.

JAFFAR, Ahmed; HALIM, Narul Hayati Abdul; YUSOFF, Noriah. Effective Data Collection and Analysis for Efficient Implementation of Standardized Work (SW). **Journal of Mechanical Engineering**, v. 9, n. 1, p. 45–78, 2012.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final Report of the Industrie 4.0 Working Group**, n. April, p. 1–84, 2013.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KERIN, Mairi; PHAM, Duc Truong. A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117805, 2019.

KIEL, Daniel et al. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 08, p. 1740015, 2017.

KOLBERG, Dennis; KNOBLOCH, Joshua; ZÜHLKE, Detlef. Towards a lean automation interface for workstations. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 10, p. 2845–2856, 2017.

KOLBERG, Dennis; ZÜHLKE, Detlef. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.

KRAFCIK, John F. Triumph of the lean production system. **MIT Sloan Management Review**, v. 30, n. 1, p. 41, 1988.

KÜSTERS, Dennis; PRAß, Nicolina; GLOY, Yves-Simon. Textile Learning Factory 4.0– Preparing Germany's Textile Industry for the Digital Future. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 214-221, 2017.

LASI, Heiner et al. Industry 4.0**. Business & Information Systems Engineering**, v. 6, p. 239-242, 2014.

LEE, Jay et al. Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 18, p. 20-23, 2018.

LEYH, Christian; MARTIN, Stefan; SCHÄFFER, Thomas. Industry 4.0 and Lean Production—A matching relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models. In: 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), p. 989-993, 2017.

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**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIKER, Jeffrey K.; HOSEUS, Michael. **A cultura Toyota**: a alma do Modelo Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.

MA, Jing; WANG, Qiang; ZHAO, Zhibiao. SLAE–CPS: Smart lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies. **Sensors**, v. 17, n. 7, p. 1500, 2017.

MAZUREK, Grzegorz. Virtualization of marketing. **Contemporary Management Research**, v. 8, n. 3, 2012.

MCDERMOTT, C. M.; STOCK, G. N. Organizational culture and advanced manufacturing technology implementation. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 5, p. 521–533, 1999.

MCKINSEY&COMPANY. Industry 4.0 after the initial hype - Where manufacturers are finding value and how they can best capture it. McKinsey Digital, v. 23, n. 1, p. 140, 2013.

MDIC. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2018.

MDIC. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019a.

MDIC. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019b.

MDIC. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019c.

MIA, L.; WINATA, L. Manufacturing strategy, broad scope MAS information and information and communication technology. **British Accounting Review**, v. 40, n. 2, p. 182–192, 2008.

MIGUEL, Paulo A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.

MIGUEL, Paulo A. C. . **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. São Paulo: Editora Elsevier, p. 280, 2010.

MIGUEL, Paulo C.. Aspectos relevantes no uso da pesquisa-ação na engenharia de produção. **Exacta**, v. 9, n. 1, 2011.

MILTENBURG, John. One-piece flow manufacturing on u-shaped production lines: A tutorial. **IIE Transactions**, v. 33, n. 4, p. 303–321, 2001.

MITCHELL, William J. The era of the E-topia: The right reactions to the digital revolution can produce lean and green cities. **Architectural Record**, v. 187, n. 3, p. 35-36, 1999.

MOEUF, Alexandre et al. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 3, p. 1118-1136, 2018.

NOH, Kyoo-Sung. Model of knowledge-based process management system using big data in the wireless communication environment. **Wireless Personal Communications,** v. 98, n. 4, p. 3147-3162, 2018.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção**: Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997

PALMARINI, Riccardo et al. A systematic review of augmented reality applications in maintenance. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 49, p. 215-228, 2018.

PIENING, E. P.; BALUCH, A. M.; RIDDER, H. G. Mind the intended – implemented gap: understanding employees perceptions of HRM. **Human Resources Management**, v. 53, n. 4, p. 545-567, 2014.

PFEIFFER, Sabine. The Vision of “Industrie 4.0” in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded. **NanoEthics**, v. 11, n. 1, p. 107–121, 2017.

RATHORE, Muhammad Mazhar et al. "IoT-Based Big Data: From Smart City towards Next Generation Super City Planning. **International Journal on Semantic Web and Information Systems**, vol. 13, pp. 28-47, 2017.

RAYNA, Thierry; STRIUKOVA, Ludmila. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 214–224, 2016.

ROSIENKIEWICZ, Maria et al. Development of lean hybrid furniture production control system based on glenday sieve, artificial neural networks and simulation modeling. **Drvna Industrija: Znanstveni Časopis Za Pitanja Drvne Tehnologije**, v. 69, n. 2, p. 163-173, 2018.

ROSIN, F.; FORGET, P.; LAMOURI, S.; PELLERIN, R. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 6, p. 1644–1661, 2020.

ROSSINI, Matteo et al. The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, n. 9-12, p. 3963-3976, 2019.

SACCO, Marco et al. **DiFac: an integrated scenario for the Digital Factory**. In: 2009 IEEE International Technology Management Conference (ICE). IEEE, 2009. p. 1-8.

SANDERS, Adam; ELANGESWARAN, Chola; WULFSBERG, Jens P. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811-833, 2016.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, Jania Astrid et al. Industry 4.0 framework for management and operations: a review. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 9, n. 3, p. 789-801, 2018.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SHAH, Rachna; WARD, Peter T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 4, p. 785-805, 2007.

SMALL, M. H.; YASIN, M. M. Advanced manufacturing technology: Implementation policy and performance. **Journal of Operations Management**, v. 15, n. 4, p. 349–370, 1997.

SONY, Michael. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. **Production & Manufacturing Research**, v. 6, n. 1, p. 416-432, 2018.

SPEAR, Steven et al. Decoding the DNA of the Toyota production system. **Harvard Business Review**, v. 77, p. 96-108, 1999.

STOCK, Tim et al. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 254-267, 2018.

STONE, Kyle B. **Four decades of lean**: a systematic literature review. International Journal of Lean and Six Sigma, v. 3, n. 2, p. 112-132, 2012.

TELUKDARIE, Arnesh et al. Industry 4.0 implementation for multinationals. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 316-329, 2018.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FETTERMANN, Diego. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2017.

TYAGI, Amit. Artificial Intelligence: Boon or Bane? **SSRN Electronic Journal**, 2016.

UGARTE, B. S. DE; ARTIBA, A.; PELLERIN, R. Manufacturing execution system - A literature review. **Production Planning and Control**, v. 20, n. 6, p. 525–539, 2009.

VEZA, Ivica; MLADINEO, Marko; GJELDUM, Nikola. Selection of the basic lean tools for development of Croatian model of innovative smart enterprise. **Tehnicki Vjesnik**, v. 23, n. 5, p. 1317-1324, 2016.

VINODH, S.; ANTONY, J.; AGRAWAL, R.; DOUGLAS, J. A. Integration of continuous improvement strategies with Industry 4.0: a systematic review and agenda for further research. **TQM Journal**, 2020.

VOGLI, Elvis et al. Fast network joining algorithms in industrial IEEE 802.15. 4 deployments. **Ad Hoc Networks**, v. 69, p. 65-75, 2018.

WAGNER, Tobias; HERRMANN, Christoph; THIEDE, Sebastian. Industry 4.0 impacts on lean production systems. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 125-131, 2017.

WAKABAYASHI, Mitsuru. Motivational basis of lean production work: integrating people with the organisation beyond role specifications. **Applied Psychology**, v. 45, n. 2, p. 135–138, 1996.

WALLER, Matthew A.; FAWCETT, Stanley E. Click here to print a maker movement supply chain: How invention and entrepreneurship will disrupt supply chain design. **Journal of Business Logistics**, v. 35, n. 2, p. 99–102, 2014.

WANG, Biao et al. **Lean Intelligent Production System and Value Stream Practice**. 3rd International Conference on Economics and Management, 2016.

WANG, Yi et al. Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 311–320, 2017.

WEATHERALL, Alan. **Computer Integrated Manufacturing**: a competitive strategy. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1992.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **The future of jobs**: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution. In: Global Challenge Insight Report, World Economic Forum, Geneva. 2016.

WOLFARTSBERGER, Josef; ZENISEK, Jan; SIEVI, Christoph. Chances and Limitations of a Virtual Reality-supported Tool for Decision Making in Industrial Engineering. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 637–642, 2018.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YAMAGUCHI, Yo et al. Underground Infrastructure Management System using Internet of Things Wireless Transmission Technology. **IEICE Transactions on Electronics**, v. 101, n. 10, p. 727-733, 2018.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: Planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005.

YIN, Yong; STECKE, Kathryn E.; LI, Dongni. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 1-2, p. 848-861, 2018.

YINGLING, Jon. C.; DETTY, Richard B.; SOTTILE JR, Joseph. Lean manufacturing principles and their applicability to the mining industry. **Mineral Resources Engineering**, v. 9, n. 02, p. 215-238, 2000.

ZHANG, Xianyu et al. A reference framework and overall planning of industrial artificial intelligence (I-AI) for new application scenarios. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 101, n. 9-12, p. 2367-2389, 2019.

ZHENG, Pai et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 13, n. 2, p. 137-150, 2018.

ZUEHLKE, Detlef. Smart Factory-Towards a factory-of-things. **Annual Reviews in Control**, v. 34, n. 1, p. 129–138, 2010.

# APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA

## INTERAÇÕES ENTRE INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

- Dados que especificam a empresa e funcionário serão ocultados para avaliação
- As perguntas devem ser respondidas de acordo com a empresa que o entrevistado representa
- É solicitado o preenchimento do maior número possível de respostas, porém é facultativo ao entrevistado o preenchimento ou não de cada questão

## BLOCO I - CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DO ENTREVISTADO

**Empresa**

a. Nome da empresa:
b. Setor de atuação / Tempo de mercado:
c. Posicionamento no mercado:
d. Origem do capital (nacionalidade):
e. Produto:
f. Volume de produção:
g. Número de funcionários:
h. Faturamento:

**Entrevistado**

i. Nome:
j. Função:
k. Departamento:
l. Tempo de experiência na função:
m. Tempo de experiência na empresa:
n. Tempo de experiência no mercado:
o. E-mail:
p. Telefone:

## BLOCO II - INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

Tomando como base habilitadores de indústria 4.0 e princípios lean manufacturing, avalie o impacto do tópico com relação à empresa como nulo, baixo, médio ou alto.
Como sugestão, identifique mentalmente se o tópico é aderente ou não à empresa, ou seja, se a aderência é nula ou não. Caso a aderência não seja nula, avalie mentalmente se o impacto é baixo, médio ou alto e por fim preencha e respectivas observações.
Para cada tópico apresentado, é importante informar uma evidência.

## Princípios lean manufacturing

| | | | |
|---|---|---|---|
| | cultura Toyota 4P | Phylosophy, Process, People and Partners, Problem solving | **Filosofia:** contribuir para o crescimento da economia, funcionários e empresa<br>**Processo:** excelência operacional e redução de perdas<br>**Funcionários e parceiros:** agir, pensar e sentir em prol de objetivo comum<br>**Solução de Problema:** concentração de esforços para melhoria contínua |
| | Gerenciamento visual | indicação visual clara para ações | ferramenta que fornece indicações visuais e orientações de forma clara sobre ações e locais apropriados<br>diagramas de Ishikawa, de Pareto e de causa e efeito, fluxogramas, histogramas, gráficos de controle, entre outros |
| | Processos estáveis e padronizados | produzir de acordo com padrão, não gerar interrupção | o processo planejado é executado de maneira uniforme<br>procedimentos executados independentemente do funcionário envolvido<br>composto por três elementos chave: tempo de ciclo, sequência do trabalho e estoque em processo |
| | Produção nivelada ou heijunka | produção sem picos e vales | balanceamento da carga de trabalho de acordo com a capacidade de processo e conforme sequência pré-estabelecida<br>o objetivo é evitar "picos e vales" na produção<br>conhecido também como nivelamento da produção, que nivela as diferentes capacidades de produção de um sistema |
| | Just in Time (JIT) | item correto, momento correto, quantidade corrreta | em um processo, entregar item necessário, quando necessário, na quantidade necessária<br>principais aspectos: produção enxuta, produção sem estoques, produção contínua, eliminação de desperdício e Kaizen contínuo |
| STOP | Autonomação ou jidoka | paralização da linha para correção de problema | o operador pode paralisar a linha de produção para correção ao detectar um problema<br>são sinalizados problemas de qualidade, da máquina, de processo |
| | Pessoas e equipe de trabalho | equipe diferenciada, cultura de comprometimento com resultado comum | surgimento com negociação entre Toyota e sindicato para redução de funcionários, o emprego vitalício, melhorias do processo, etc.<br>estimula, ampara e exige o envolvimento de funcionários em melhorias, uma cultura além de técnicas e eficiência<br>os funcionários têm sentido de urgência, propósito e trabalho em equipe, para problemas não resultarem em falhas |
| | Redução das perdas ou redução de desperdícios | atividades devem agregar valor | - qualquer atividade realizada que não agrega valor / 7 tipos de desperdícios: superprodução, tempo de espera, transporte desnecessário, processamento em si, estoque disponível, movimento desnecessário, produtos defeituosos<br>- muda=desperdício / mura=irregularidade de processo / muri=trabalho excessivo ou exaustivo |
| | Melhoria contínua ou kaizen | time envolvido com sugestões para solução de problema | filosofia, sistemas e ferramentas para solução de problemas desenvolvidas no Japão entre as décadas de 1950 e 1980<br>pouco custo, fomenta pequenas melhorias e de forma incremental e proporciona resultados significativos ao longo do tempo<br>desenvolvido em vários formatos e objetivos por um time de trabalho que sugere, analisa, propõe soluções para um problema |

1. Informe qual é o nível de implementação de princípios lean manufacturing:

| | | Resposta | Observações |
|---|---|---|---|
| | cultura Toyota 4P | | |
| | Gerenciamento visual | | |
| | Processos estáveis e padronizados | | |
| | Produção nivelada ou heijunka | | |
| | Just in Time (JIT) | | |
| STOP | Autonomação ou jidoka | | |
| | Pessoas e equipe de trabalho | | |
| | Redução das perdas ou redução de desperdícios | | |
| | Melhoria contínua ou kaizen | | |

## Habilitadores de indústria 4.0

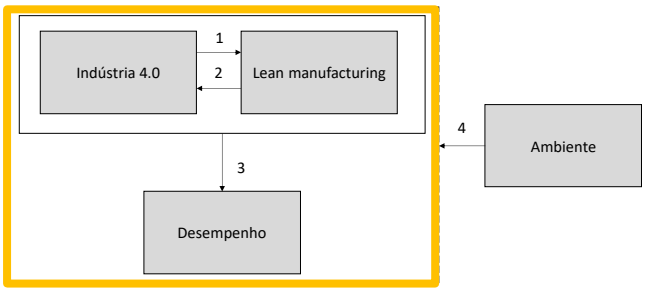
| | | | |
|---|---|---|---|
| | IoT<br>Internet of Things | Sensores/ atuadores para geração de informação | infraestrutura composta por sensor/atuador conectados à internet, Boyes et al. (2018)<br>é incorporado à objetos, é capaz de prover informação sobre si e arredores junto à outros objetos e sistemas, Boyes et al. (2018)<br>computadores e internet dependem de dados originados por pessoas ou por objetos ou "coisas", Kiel et al. (2017) |
| | CPS | Máquinas inteligentes dotadas de sensores/ atuadores | CPS é um equipamento/sistema dotado de sensor/atuador conectados à internet, Wagner, Herrmann e Thiede (2017)<br>proporciona inteligência às máquinas, identificando desvios, analisando causas e iniciando correções automaticamente, Buer, Strandhagen e Chan (2018)<br>possibilidade de sistemas autoconfiguráveis por meio de representação virtual, Harrison, Vera e Ahmad (2016) |
| | Cloud<br>Nuvem | Armazenamento de informações | unidade flexível de armazenamento de dados para conexão de computadores e máquinas, Dopico et al., 2016<br>onipresente, em tempo real, com elastividade de armazenamento, baixo custo, alta velocidade e larga escala, Mouef et al. (2018)<br>serviços são fornecidos como armazenamento, infraestrutura, plataforma e software, Stock et al. (2018) |
| | Big Data | Processamento de Informações | - tecnologia inteligente capaz de administrar o volume corrente de informações, Roßmann et al., 2017<br>- avaliação analítica de dados volumosos que variam de terabytes à exabytes, de grande complexidade e de origem diversificada que varia de sensores às mídias sociais, Chen, Chiang e Storey (2012) |
| | Inteligência Artificial | Interpretação de dados e sugestão de solução | seleção e análise de informação originada por sensores para prover interpretação e sugestão (IBM Watson), Dopico et al. (2016)<br>ciência cognitiva para desenvolvimento, validação e implementação de algoritmos no processamento de imagem/linguagem e robotização, Lee et al. (2018)<br>computação afetiva: é a ciência que estuda sistemas que reconhecem, interpretam, processam e simulam afetos humanos, Golan, Cohen e Singer (2019) |
| | Robotização | Máquinas Autônomas | robô industrial é utilizado em operações específicas por meio de ações programadas e repetitivas, Weatherall (1992)<br>robôs avançados têm sentidos aprimorados, destreza e inteligência que podem superar seres humanos, WEF (2016)<br>estão se tornando mais autônomos, flexíveis, cooperativos e seguros para interação com seres humanos, Bahrin et al. (2016) |
| | Manufatura Aditiva | objetos tridimensionais a partir de modelos vituais | manufatura aditiva e impressão 3D têm o mesmo significado na produção de peças individuais ou protótipos, Dopico et al. (2016)<br>produção de objetos tridimensionais por deposição em níveis sucessivos de material como plástico, ligas metálicas, etc., Dopico et al. (2016)<br>não precisa de molde e podem produzir a partir de modelos virtuais ou CAD, Dopico et al. (2016) |
| | Simulação | Avaliação do mundo físico por meio de software | representação do mundo físico em modelo virtual através da utilização de software, Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018)<br>utilizado para avaliações de equipamentos, produtos, produção e comportamentos, Saucedo-Martínez et al. (2018)<br>é realizada antes da execução física e proporciona redução de tempo, recursos e risco, Saucedo-Martínez et al. (2018) |
| | Tecnologias Digitais | Interface entre mundo real e mundo digital | **Digitalização:** digitização é conversão de informação analógica em digital, digitalização é o uso da infraestrutura digital como apps para comunicação/compras ou GPS, Isaksson, Harjunkoski e Sand (2018)<br>**Virtualização:** que é realizado em computador para representar mundo físico, não é real, Mazurek (2012)<br>**Realidade Aumentada:** combina o mundo real com objetos virtuais, como GPS, Palmarini et al. (2018)<br>**Realidade Virtual:** a presença física é representada em ambiente imaginário com imagens, sons e sensações (óculos de realidade virtual), Chiarello et al. (2018) |

2. Informe qual é o nível de implementação de habilitadores de indústria 4.0:

| | | Resposta | Observações |
|---|---|---|---|
| | IoT<br>Internet of things | | |
| | CPS | | |
| | Cloud<br>Nuvem | | |
| | Big Data | | |
| | Inteligência Artificial | | |
| | Robotização | | |
| | Manufatura Aditiva | | |
| | Simulação | | |
| | Tecnologias Digitais | | |

**Interações entre indústria 4.0 e lean manufacturing**

Quadro 1: Estrutura conceitual: indústria 4.0, lean manufacturing, desempenho e ambiente




Fonte: Buer, Strandhagen e Chan, 2018

3. Tomando como base a interação entre indústria 4.0 e lean manufacturing, avalie o impacto em que cada habilitador da indústria 4.0 contribui com a implementação e/ou operação de lean manufacturing informando também os princípios lean manufacturing afetados:

| | | | Avaliação | Princípios Lean Manufacturing afetados / Observações |
|---|---|---|---|---|
| | **Cloud** Nuvem | **Lean Manufacturing** | | |
| | **IoT** Internet of Things | | | |
| | **Big Data** | | | |
| | **CPS** | | | |
| | **Manufatura Aditiva** | | | |
| | **Simulação** | | | |
| | **Robotização** | | | |
| | **Inteligência Artificial** | | | |
| | **Tecnologias Digitais** | | | |

4. Tomando como base a interação entre lean manufacturing e indústria 4.0, avalie o impacto em que lean manufacturing contribui para a implementação e/ou operação de cada habilitador da indústria 4.0 informando também os princípios lean manufacturing relevantes:

| | | | Avaliação | Princípios Lean Manufacturing relevantes / Observações |
|---|---|---|---|---|
| Lean Manufacturing | | Cloud<br>Nuvem | | |
| | | IoT<br>Internet of Things | | |
| | | Big Data | | |
| | | CPS | | |
| | | Manufatura Aditiva | | |
| | | Simulação | | |
| | | Robotização | | |
| | | Inteligência Artificial | | |
| | | Tecnologias Digitais | | |

**Princípios Lean Manufacturing**

1. Cultura Toyota 4P
2. Gerenciamento Visual
3. Processos estáveis e Padronizados
4. Produção nivelada ou heijunka
5. Just in time
6. Autonomação ou jidoka
7. Pessoas e equipe de trabalho
8. Redução das perdas ou redução de desperdicios
9. Melhoria contínua ou Kaizen

**Aderência de dimensões lean manufacturing, desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0**

O número que consta em cada linha identifica o campo e facilita o correlacionamento com comentários

5. Tomando como base dimensões lean manufacturing, desafios lean manufacturing e soluções de indústria 4.0, identifique a(s) linha(s) representativa(s), indique o nível de aderência e faça comentários:

| | Desafios para a implementação enxuta a partir da perspectiva de integração | Soluções fornecidas pela Indústria 4.0 | Nível de aderência | |
|---|---|---|---|---|
| **Dimensões Lean Manufacturing** | **Barreiras** | **Motivações** | | |
| **Feedback do fornecedor** | Recursos e conhecimentos limitados | Fabricação colaborativa | | 1 |
| | Diferença nos modelos de negócio, operação e práticas de manutenção de dados | Melhores mecanismos de comunicação | | 2 |
| | | Sincronização de dados | | 3 |
| **JIT realizado pelo fornecedor** | Status de remessa de mercadoria incompleta | Identificação de itens | | 4 |
| | Incompatibilidade na quant. mercadoria | Rastreamento sem fio de mercadorias | | 5 |
| | Atrasos inesperados durante o transporte | Realocação inteligente de pedido | | 6 |
| **Desenvolvimento do fornecedor** | Recursos e conhecimentos inadequados | Interfaces padronizadas | | 7 |
| | Compatibilidade equipam. entre organizações | Organizações virtuais - cooperação sinérgica | | 8 |
| **Envolvimento do cliente** | Pouca flexibilidade para alteração do produto | Período de congelamento prolongado | | 9 |
| | Relação entre necessidades e funções | Implementação Qualidade em grande volume | | 10 |
| | Adquirir necessidades exatas dos clientes | Análise de uso | | 11 |
| **Produção puxada** | Rastreamento inadequado quant. Material | Monitoramento reabastecimento material | | 12 |
| | Alteração no cronograma de produção | Agendamento rastreamento/atualiz. kanban | | 13 |
| **Fluxo contínuo** | Erros na contagem de inventário | Rastreamento de inventário em tempo real | | 14 |
| | Escassez de capacidade | Subcontratação | | 15 |
| | Sistemas de controle centralizados | Tomada de decisão descentralizada | | 16 |
| **Redução de tempo de setup** | Adaptação processo baseado experiênc. humana | Auto-otimização e aprendizado de máquina | | 17 |
| | | comunicação da peça em processo | | 18 |
| **TPM - Total Productive Maintenance** | Nenhum controle de avaria de máquina | Comunicação peça-máquina | | 19 |
| | Tempo desconhecido para resolver problemas | Auto avaliação de manutenção | | 20 |
| | | Controle preditivo de manutenção | | 21 |
| **CEP - Controle Estatístico de Processo** | Ignorância de operadores | Comunicação peça-máquina | | 22 |
| | Incapacidade de rastrear variações do processo | Interface homem-máquina aprimorada | | 23 |
| | | Rastream./integração/gerenciam. processos | | 24 |
| **Envolvimento de funcionários** | Mecanismos de feedback inadequados | Dispositivos de feedback inteligentes | | 25 |
| | Práticas de avaliação de desempenho | Sistemas de apoio ao trabalhador | | 26 |
| | Monotonia no trabalho | Interface homem-máquina aprimorada | | 27 |

**Direcionadores de valor para indústria 4.0 e lean manufacturing**

6. Tomando como base a implementação de indústria 4.0 em processo de produção com base lean manufacturing, para o que se refere à direcionadores de valor, qual é o impacto?

| Métrica | Resposta | Observações |
|---|---|---|
| Utilização de ativos | | |
| Inventário | | |
| Recursos / processos | | |
| Combinação de oferta x demanda | | |
| Mão-de-obra | | |
| Qualidade | | |
| Serviço / pós-venda | | |
| Time to market<br>Tempo entre concepção do produto e início de venda | | |

**Informações gerais**

7. Para o que se refere à lean manufacturing e habilitadores de indústria 4.0,
   7.1. quais são as motivações?
   7.2. quais são as barreiras?

7. Quem é (são) o(s) stakeholder(s)? Faça comentários ou acrescente, se pertinente.

- Governo;
- Engenharia;
- Fornecedor;
- Mercado;
- Academia;
- Distribuidor;
- Outros;
- Não especificado.

8. Faltou abordar algo?

Reservado para comentários

# ANEXO 1 – INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

| Habilitador de Indústria 4.0 | | Indústria 4.0 associada à Lean Manufacturing | | | | | | | | Destaques |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RET | | AUT | | EMB | | CO | | |
| IoT Internet of Things | Lean Manufacturing | ++ | **H:** sensor mede temperatura e ajustes são realizados (informação não é disseminada)<br>**P: Processos estáveis e padronizados, Redução de desperdícios** (scrap) | ++ | **H:** sensor de vibração, ruído e temperatura planejamento de manutenção e insumos<br>**P: Processos estáveis e Padronizados** -> evita manutenção desnecessárias ou imprevista<br>**P: Redução de desperdícios:** utilização máxima do recurso antes da manutenção | ++ | **H:** sensores informam variações de processo inadequadas, fabricante alemão acessa o equipamento no Brasil para manutenção<br>**P: Processos estáveis e Padronizados:** -> desvios corrigidos pelo fabricante | +++ | **H:** contrato personalizado de manutenção preditiva do produto monitorado por CO<br>**P: Redução de desperdícios** -> redução de diagnóstico e intervenção responsiva<br>**P: Processos estáveis e Padronizados** -> novo processo e eliminação de instabilidades | **H:** sensores medem variações de processo (temperatura, vibração, ruído) e informam necessidade de ajustes e manutenção<br>**P:** Processos estáveis e redução de desperdícios<br>**CO:** informação utilizada para manutenção de caminhões |
| CPS | | +++ | **H:** sensor mede temperatura e ajustes são realizados (informação não é disseminada)<br>**P: Processos estáveis e padronizados, Redução de desperdícios (scrap)** | ++ | **H:** medições/ ajustes de processo e conexão com fornecedores para reposição de peças<br>**P: Processos estáveis e Padronizados:** -> evita paradas desnecessárias<br>**P: Redução de desperdícios:** utilização máxima antes da manutenção | ++ | **H:** sensores e interface com internet no monitoramento de parâmetros de processo<br>**P: Processos estáveis e Padronizados** -> desvios de corrigidos pelo fabricante | +++ | **H:** contrato personalizado de manutenção preditiva do produto monitorado por CO<br>**P: Redução de desperdícios** -> redução de diagnóstico, intervenção responsiva<br>**P: Processos estáveis e Padronizados** -> novo processo e eliminação de instabilidades | **H:** ajustes são realizados com base em informação por sensores<br>**P:** Processos estáveis e redução de desperdícios |
| Simulação | | +++ | **H:** simulação de novos produtos em programa computacional<br>**P: Redução de desperdícios:** definição de parâmetros de produção antes de implementação, elimina ou ameniza "tentativa e erro" | +++ | **H:** simulação com softwares no projeto de processos de usinagem, montagem e logística<br>**P: Processos estáveis e Padronizados** -> projeto garante processo estável<br>**P: Redução de desperdícios:** projeto de produção otimizada | ++ | **H:** simulação computacional de lotes para definir melhor alocação de produtos/produção<br>**P: Redução de desperdícios** -> eliminar perdas com por setup<br>**P: Nivelamento da Produção** -> nivelar ao máximo a produção | +++ | **H:** sistemas computacionais para simulação de lay-out e produção<br>**P: Redução de desperdícios** -> projetos e produção realizados de forma otimizada | **H:** simulação de novos produtos e processos<br>**P:** redução de desperdícios |
| Robotização | | ++ | **H:** uso de robôs<br>**P: Processos estáveis e Padronizados** -> maior estabilidade com robôs que com humano<br>**P: Redução de desperdícios** -> os robôs são mais precisos, mais ágeis e geram menos scraps que humanos | +++ | **H:** robôs para automatização de operações<br>**P: Processos estáveis e Padronizados** ->propiciam redução de desvios de estabilidade de processo<br>**P: Redução de desperdícios** -> processos enxutos e independentes de variáveis | +++ | **H:** robôs para movimentação de material e melhor sequência de produção<br>**P: Redução de desperdícios:** redução de movimentação e transporte<br>**P: Produção Nivelada** -> menor variação de complexidade de produção | +++ | **H:** uso de robô em diversas estações de trabalho na fábrica como aplicação de cola<br>**P: Processos estáveis e Padronizados / Redução de desperdícios:** atividades realizadas sem variações humanas e de forma precisa | **H:** uso de robôs substituindo operadores na produção<br>**P:** redução de desperdícios, Processos estáveis e Padronizados, Produção Nivelada<br>**Exemplos:** montagem, aplicação de cola, movimentação de material, |

# ANEXO 2 – INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

| | Destaques | Habilitador de Indústria 4.0 | Avaliação | | | | | | | | Destaques |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | RET | | AUT | | EMB | | CO | | |
| Lean Manufacturing | **P:** Processos estáveis e padronizados, Melhoria contínua ou Kaizen e cultura Toyota 4P (Phylosophy, Process, People and Partners) | **IoT Internet of Things** | ++ | **P: Processos estáveis e Padronizados** -> processo estabelece que a temperatura seja monitorada<br>**H:** viabilidade de **implementação de sensor** para medição de temperatura com ajustes automáticos | ++ | **P: cultura Toyota 4P (Phylosophy, Process, People and Partners)** -> 4P associado à IoT e como resultado a melhoria do processo<br>**P: melhoria contínua ou Kaizen** -> estímulo de soluções avançadas, neste caso IoT<br>**H:** sensores de vibração, ruído e temperatura para planejamento de manutenção e insumos | ++ | **P: Melhoria contínua ou Kaizen:** melhoria de processo com implementação de tecnologia<br>**H:** sensores informam variações de processo inadequadas e fabricante alemão indica conserto da máquina no Brasil | ++ | **P: cultura Toyota 4P (Phylosophy, Process, People and Partners)** e **melhoria contínua ou Kaizen:** funcionários são encorajados e desafiados ao uso de soluções modernas<br>**H:** IoT possibilita contrato personalizado manutenção do produto (caminhão) monitorado pela empresa CO | **EMB:** sensores informam variações de processo inadequadas no Brasil e fabricante na Alemanha indica conserto |
| | **P:** melhoria contínua ou Kaizen e cultura Toyota 4P (Phylosophy, Process, People and Partners) | **CPS** | ++ | **P: Processos estáveis e Padronizados** -> fomenta necessidade de medição de temperatura e correção<br>**H:** sensor de temperatura e ajustes automáticos | ++ | **P: cultura Toyota 4P** -> associado à IoT e como resultado a melhoria do processo<br>**P: melhoria contínua ou Kaizen** -> estímulo de soluções avançadas, neste caso IoT<br>**H:** sensores de vibração, ruído e temperatura para planejamento de manutenção e insumos | ++ | **P: Melhoria contínua ou Kaizen** -> proporcionou a otimização de processo com implementação da tecnologia<br>**H:** uso sensores e com internet no monitoramento de parâmetros de processo | ++ | **P: cultura Toyota 4P (Phylosophy, Process, People and Partners)** e **melhoria contínua ou Kaizen:** funcionários são encorajados e desafiados ao uso de soluções modernas<br>**H:** IoT possibilita contrato personalizado manutenção do produto (caminhão) monitorado pela empresa CO | **CO:** recomendação de manutenção preditiva personalizado para produto (caminhão) |
| | **P:** Redução de desperdícios, Melhoria contínua ou Kaizen e Cultura Toyota 4P | **Simulação** | ++ | **P: Redução de desperdícios** -> busca por processo sem desperdícios<br>**H:** simulação de novos produtos em programa computacional | +++ | **P: Melhoria contínua ou Kaizen** -> melhoria de processo em fase de projeto<br>**H:** utilização de softwares de simulação no projeto de processos de usinagem, montagem e fluxo logístico | +++ | **P: cultura Toyota 4P** e **Melhoria contínua ou Kaizen** -> comportamentos que visam a melhoria<br>**H:** simulação para definir melhor variedade de produtos na produção | ++ | **P: Melhoria contínua ou Kaizen** e **Redução de desperdícios:** a busca por melhoria e por redução de desperdícios fomenta o uso de novas tecnologias<br>**H:** utilização de sistemas computacionais para simulação de lay-out e produção | Produção de novos produtos, processos, logística, lay-out e mix de produção |
| | **P:** Redução de desperdícios | **Robotização** | +++ | **P: Redução de desperdícios** -> a instalação otimizada (lay-out) de robôs propicia a redução de distâncias, de atividades e até mesmo do número de robôs<br>**H:** definição de atividades e de robôs | +++ | **P: Redução de desperdícios** -> a instalação otimizada (lay-out) de robôs propicia a redução de distâncias, de atividades e até mesmo do número de robôs<br>**H:** definição de atividades e de robôs | +++ | **P: Redução de desperdícios** -> robotização utilizado para movimentação de material otimizada e seleção de melhor conveniência de produção<br>**H:** robotização otimização de fluxo de materiais e de mix de produção | +++ | **P: Redução de desperdícios** -> este princípio indica a viabilidade ou não de utilização de robotização<br>**H:** utilização de robôs em diversas atividades, como exemplo na aplicação de cola | Definição de atividades otimizadas para os robôs, também no planejamento do lay-out de robôs |

# ANEXO 3 – DESAFIOS DE LEAN MANUFACTURING E SOLUÇÕES DE INDÚSTRIA

| Dimensões Lean Manufacturing | Desafio Lean Manufacturing / Solução Indústria 4.0 | Destaques |
|---|---|---|
| Produção puxada | Rastreamento inadequado material / monitoramento reabastecimento | AUT: Kanban inteligente<br>(-) Agendamento de material manual (RET/ EMB / CO) |
| | Alteração no cronograma de produção / agendam. e atualização kanban | |
| Fluxo contínuo | Erros na contagem de inventário / rastreamento em tempo real | (-) Contabilidade manual semanal (RET)<br>AUT: Gerenciamento e automação para assegurar processo<br>EMB: Subcontratação frequente |
| | Escassez de capacidade / subcontratação | |
| | Sistemas de controle centralizados / decisões descentralizadas | |
| CEP - Controle Estatístico de Processo | Ignorância de operadores / Comunicação peça-máquina | EMB: Sensores informam variações inadequadas, Rastreamento de parâmetros de processo |
| | não rastreamento variações processo / Interface homem-máquina aprimorada | |
| | não rastreamento variações processo / Rastream./integração/gerenc. processos | |
| Envolvimento de funcionários | Mecanismos de feedback inadequados / dispositivos de feedbacks inteligentes | Feedback digital (EMB/CO)<br>Redução monotonia atividades (AUT/EMB/CO) |
| | Práticas de avaliação de desempenho / sistema de apoio ao trabalhador | |
| | Monotonia no trabalho / interface homem-máquina aprimorada | |

# ANEXO 4 – DESAFIOS DE LEAN MANUFACTURING E SOLUÇÕES DE INDÚSTRIA

| Dimensões Lean Manufacturing | Desafio Lean Manufacturing / Solução Indústria 4.0 | RET | | AUT | | EMB | | CO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Produção puxada | Rastreamento inadequado material / monitoramento reabastecimento | ++ | reabastecimento monitorado para insumos de alto valor agregado (30%) | +++ | KANBAN inteligente para abastecimento de linha | + | realizados, porém de forma manual | + | Monitoramento de reabastecimento do material |
| | Alteração no cronograma de produção / agendam. e atualização kanban | + | agendamento manual suficiente | +++ | | + | | + | Agendamento rastreamento/ atualiz. kanban |
| Fluxo contínuo | Erros na contagem de inventário / rastreamento em tempo real | + | contabilização manual semanal suficiente | +++ | gerenciamento e automatização para assegurar processo contínuo | ++ | realizado de forma manual | ++ | Rastreamento de inventário em tempo real |
| | Escassez de capacidade / subcontratação | +++ | subcontratação frequente | ++ | subcontratações pontuais | + | subcontratação esporádica para atividades pontuais | ++ | Subcontratação |
| | Sistemas de controle centralizados / decisões descentralizadas | ++ | decisões descentralizadas com certa frequência | ++ | decisões descentralizadas pontuais com limites definidos | ++ | decisões descentralizadas conforme limites estabelecidos | ++ | Tomada de decisão descentralizada |
| CEP - Controle Estatístico de Processo | Ignorância de operadores / Comunicação peça-máquina | ++ | melhora significativa pontual (setor de massa) | ++ | CEP implementado quase em sua totalidade | +++ | sensores informam variações inadequadas | ++ | Comunicação peça-máquina |
| | não rastreamento variações processo / Interface homem-máquina aprimorada | ++ | | ++ | | +++ | | ++ | Interface homem-máquina aprimorada |
| | não rastreamento variações processo / Rastream./integração/gerenc. processos | ++ | | ++ | | +++ | rastreamento de parâmetros de processo | ++ | Rastream./integração/gerenciam. processos |
| Envolvimento de funcionários | Mecanismos de feedback inadequados / dispositivos de feedbacks inteligentes | ++ | sistema eletrônico de feedback | + | sistema de feedback eficazes entre departamentos | +++ | feedbacks em sistema digital | +++ | Dispositivos de feddback inteligentes |
| | Práticas de avaliação de desempenho / sistema de apoio ao trabalhador | +++ | apoio ao funcionário, premiações frequentes | ++ | existente | +++ | | +++ | Sistemas de apoio ao trabalhador |
| | Monotonia no trabalho / interface homem-máquina aprimorada | ++ | ergonomia aprimorada, porém há oportunidades | +++ | monotonia reduzida por rotatividade de operadores | +++ | diversidade de atividades | +++ | Interface homem-máquina aprimorada |

# ANEXO 5 – DIRECIONADORES DE VALOR PARA INDÚSTRIA 4.0 E LEAN MANUFACTURING

| Direcionador de Valor | Avaliação | | | | | | | | Destaques |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RET | | AUT | | EMB | | CO | | |
| **Utilização de ativos** | +++ | **H:** Simulação e robotização<br>**P:** Redução de Desperdícios | +++ | **H:** alto impacto<br>**P:** melhoria contínua ou Kaizen | ++ | **H e P:** impacto médio (potencial de melhoria na empresa) | +++ | **H e P:** impacto expressivo em serviços | **H:** Simulação e Robotização (RET)<br>**P:** Melhoria contínua ou Kaizen -> RET, AUT, EMB (potencial) |
| **Inventário** | + | **P:** gerenc. visual, redução de desperdícios (desat. produto) | +++ | **H:** alto impacto<br>**P:** produção nivelada (estoques mínimos) | + | **H:** pouco uso<br>Princípios: limitação aos princípios | ++ | **H e P:** médio impacto | **P:** (-) Limitada aos princípios (RET, EMB) |
| **Recursos e processos** | ++ | **P:** redução de desperdícios (desat. produto) | +++ | **H:** alto impacto<br>**P:** workshops Kaizen frequentes associados à tecnologias | ++ | **H:** médio impacto<br>**P:** redução de desperdícios (melhora o processo) | +++ | **H e P:** impacto expressivo em serviços | **H/P:** impacto expressivo em serviços prestados (AUT) |
| **Combinação oferta e demanda** | + | **H e P:** baixo impacto | ++ | **H:** médio impacto<br>**P:** produção nivelada | ++ | **H:** simulação<br>**P:** produção nivelada, redução de desperdícios | ++ | **H e P:** flexibilidade no atendimento ao mercado | **H:** Simulação (EMB)<br>**P:** Pprodução nivelada (AUT, EMB) |
| **Mão-de-obra** | ++ | **H e P:** incremento no desempenho | ++ | **H:** médio impacto<br>**P:** redução de desperdícios | ++ | **H e P:** Kaizen mão-de-obra | ++ | **H e P:** impacto significativo em serviços prestados, na fábrica impacto médio | |
| **Qualidade** | ++ | **P:** médio impacto | +++ | **H:** alto impacto (tecnologias base lean)<br>**P:** melhoria contínua (incremento de qualidade) | + | **H e P:** baixo impacto | ++ | **H e P:** médio impacto para serviços e fábrica | **H/P:** Habilitadores com base lean impactam na qualidade |