



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Victor Bittencourt Lima

**Contribuição de *Lean Thinking* para a
implementação da Indústria 4.0**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Anabela Carvalho Alves

Celina Pinto Leão

outubro 2018

DECLARAÇÃO

Nome: Victor Bittencourt Lima

Endereço eletrónico: victor_blima@hotmail.com

Telefone: (+351) 939 404 568

Número do Bilhete de Identidade: FM730590

Título da dissertação: Contribuição de *Lean Thinking* para implementação da Indústria 4.0

Orientador(es): Anabela Carvalho Alves / Celina Pinto Leão

Ano de conclusão: 2018

Designação do Mestrado: Mestrado em Engenharia Industrial

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento às minhas orientadoras, Professora Doutora Anabela Carvalho Alves e Professora Doutora Celina Pinto Leão, pelo apoio na concretização desta dissertação.

Aos meus pais e irmão, pelo apoio, força e amor incondicional. Sem vocês seria impossível superar os desafios para alcançar esta etapa da minha vida.

Aos meus avós, Valdomiro Bittencourt e Maria de Lourdes Araújo Bittencourt. Seus ensinamentos, valores e amor jamais serão esquecidos. Obrigado por tudo.

RESUMO

A presente dissertação é resultado de um projeto de investigação, no âmbito do 2º ano do Mestrado em Engenharia Industrial, cuja principal finalidade foi estudar a relação e a contribuição do *Lean Thinking* no contexto da implementação da Indústria 4.0.

O *Lean*, que tem como um dos seus pilares o fator humano, por definição, desafiou com sucesso as práticas de produção em massa, proporcionando uma maior flexibilidade dos sistemas e processos de produção, resultando em produtos e cadeias de suprimentos mais “enxutos”, i.e., com menos desperdícios. Mais recentemente, surgiu a Indústria 4.0, termo utilizado pela primeira vez na Alemanha em 2011 e que se refere à 4ª revolução industrial. Este visa conectar os mundos físico/virtual na produção industrial e vem tornando-se cada dia mais popular com as inúmeras oportunidades e modelos de negócios que podem vir a consolidar-se através das novas tecnologias. Com tamanha automatização associada a Indústria 4.0, surgem questões quanto a interoperabilidade entre as duas abordagens e o papel do *Lean* nesta revolução industrial que está em andamento.

Diante disto, realizou-se uma revisão sistemática da literatura como metodologia utilizada no presente estudo, de forma de responder às perguntas de investigação propostas e identificar o papel do *Lean* neste cenário. A revisão foi conduzida para o período de tempo de 2011 a 2018 e resultou num total de 26 artigos analisados, após aplicação dos critérios de exclusão e classificação inerentes à metodologia utilizada. Ficou claro que esta é uma área de pesquisa emergente, com a maioria dos estudos selecionados sendo publicados entre 2017 e 2018. Estes mostraram também que o *Lean Thinking* exerce efeito facilitador no âmbito da Indústria 4.0 e esta, por sua vez, facilita a implementação de ferramentas *Lean*, não tendo sido identificadas barreiras ou restrições significativas à integração destas duas abordagens.

Por fim, de acordo com a estrutura proposta por este trabalho, foi possível identificar que alguns achados indicam que a integração de ambos os conceitos resulta em uma positiva sinergia beneficiando processos produtivos, modelos de negócios e contribuindo diretamente para alcançar algumas das metas de desenvolvimento sustentável definidas pela Organização das Nações Unidas.

PALAVRAS-CHAVE: *Lean Thinking*, *Lean Production*, 4ª Revolução Industrial, Indústria 4.0, *Smart Factory*

ABSTRACT

This dissertation is the result of a research project in the 2nd year of the Master's Degree in Industrial Engineering, whose main purpose was to study the relationship and contribution of Lean Thinking in the context of the implementation of Industry 4.0.

Lean, that has the human factor as one of its pillars, by definition, has successfully challenged mass production practices and provided greater flexibility in production systems and processes, resulting in "leaner" products and supply chains, i.e. with less waste. More recently, Industry 4.0 has emerged, a term first used in Germany in 2011 referring to the 4th industrial revolution. It aims to connect the physical with virtual worlds in industrial production and has become increasingly popular with the many opportunities and business models that can be consolidated through new technologies. With such automation associated with Industry 4.0, questions arise about the interoperability between the two approaches and the role of the Lean in this ongoing industrial revolution.

A systematic literature review was therefore carried out as the methodology used in the present study in order to answer the proposed research questions, as well as to identify the role of Lean in this scenario. The review was conducted for the period of 2011 to 2018. This resulted in a total of 26 articles being analysed, following the application of exclusion and classification criteria inherent to the chosen methodology. It is clear that this is an emerging research area, with most of the selected studies being published between 2017 and 2018. These studies also showed that Lean Thinking exerts a facilitative effect within the scope of Industry 4.0. This in turn, facilitates the implementation of Lean tools. As of yet, no significant barriers or constraints to the integration of these two approaches have been identified.

Finally, according to the structure proposed by this study, it was possible to identify that some findings indicate that the integration of both concepts results in a positive synergy. This has benefits for production processes and business models, and directly contributes to the achievement of some of the sustainable development goals defined by the United Nations.

KEYWORDS:

Lean Thinking, Lean Production, 4th Industrial Revolution, Industry 4.0, Smart Factory

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice.....	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Organização da dissertação	4
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 <i>Lean Production</i>	5
2.1.1 Princípios do <i>Lean Thinking</i>	6
2.1.2 Tipos de desperdícios	7
2.1.3 Ferramentas	8
2.2 Indústria 4.0.....	15
2.2.1 Componentes-chave	16
2.2.2 Principais características	19
2.2.3 Impacto da Indústria 4.0.....	21
2.3 Análise crítica.....	22
3. Procedimento para a revisão sistemática de literatura	25
3.1 Definição e benefícios	25
3.2 Procedimento de implementação.....	26
3.2.1 Localização dos estudos	28
3.2.2 Seleção e avaliação.....	28
3.2.3 Análise e síntese	29

4.	Apresentação de resultados e discussão.....	31
4.1	Caracterização dos estudos / artigos selecionados	31
4.2	Principais resultados e classificação da literatura.....	33
4.2.1	Efeito facilitador do <i>Lean Thinking</i> na implementação da Indústria 4.0	34
4.2.2	Indústria 4.0 como facilitador do <i>Lean Thinking</i>	38
4.2.3	Barreiras, restrições e dificuldades à integração de <i>Lean Thinking</i> e Indústria 4.0 41	
4.3	Discussão final.....	42
4.3.1	<i>Lean Thinking</i> e a Indústria 4.0.....	42
4.3.2	Cenário nacional.....	45
5.	Conclusão.....	47
5.1	Conclusões.....	47
5.2	Trabalho futuro	48
	Referências Bibliográficas	49
	Anexo I – Artigos analisados	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de um VSM (Fonte: Norton, 2007)	9
Figura 2: Representação do 5S (Fonte: Francisco, 2015)	10
Figura 3: Ciclo PDCA (Fonte: Periard, 2011).....	11
Figura 4: One-piece flow através de uma célula (Fonte: Baudin, 2001).....	13
Figura 5: Representação SMED (Fonte: adaptado de Ulutas, 2011)	14
Figura 6: Poka Yoke - funções e métodos (Fonte: Rodrigues, 2014)	14
Figura 7: Representação sistema Milk Run (Fonte: Rodrigues, 2014)	15
Figura 8: Representação da revolução industrial (Fonte: adaptado de Deloitte,2015)	16
Figura 9: Componentes de um CPS em larga escala (Fonte: Abosaq & Pervez, 2016).....	17
Figura 10: Internet of Things (Fonte: Gipson, 2017).....	18
Figura 11: Representação da fábrica inteligente (Fonte: Kagermann, 2013).....	19
Figura 13: As quatro características do potencial de mudança da Industria 4.0 (Fonte: adaptado de Deloitte, 2015).....	20
Figura 14: Fluxograma PRISMA da RSL (Fonte: adaptado de Moher et al., 2009)	30
Figura 15: Número de artigos encontrados por palavra-chave pesquisada	31
Figura 16: Número de artigos encontrados por base de dados.....	32
Figura 17: Artigos por fontes de publicação	32
Figura 18: Artigos publicados por ano	32
Figura 19: Métodos de pesquisa das fontes utilizados	33
Figura 20: Países da origem das fontes selecionadas	33
Figura 21: Curva de produtividade entre Lean e I4.0 (Fonte: adaptado de Prinz et al., 2018)	38
Figura 22: CPS para entrega JIT (Fonte: adaptado de Wagner et al., 2017).....	40
Figura 23: Diagrama de Venn sobre as perspectivas identificadas.....	43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resumo do procedimento executado durante a RSL	27
Tabela 2: Números de artigos por palavras-chave	29
Tabela 3: Critérios de classificação usados para analisar os artigos	29
Tabela 4: Categorização da literatura com base na estrutura proposta	34

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AGV - *Automated Guided Vehicle*

AR - *Augmented Reality*

CPS - *Cyber-Physical Systems*

I4.0 - *Indústria 4.0*

IOS - *Internet of Services*

IOT - *Internet of Things*

JIT - *Just in Time*

KPI - *Key Performance Indicator*

ONU - *Organização das Nações Unidas*

PDCA - *Plan Do Check Act*

PME - *Micro, Pequena e Média Empresa*

PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

RFID - *Radio Frequency Identification*

RSL - *Revisão Sistemática da Literatura*

SMED - *Single Minute Exchange of Dies*

TPM - *Total Productive Maintenance*

TPS - *Toyota Production System*

VSM - *Value Stream Mapping*

WIP - *Work in Progress*

1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo é apresentado o projeto de dissertação “Contribuição de *Lean Thinking* para implementação da Indústria 4.0”, no âmbito da conclusão do Mestrado em Engenharia Industrial, ramo de Gestão Industrial. Neste é ainda apresentado o enquadramento, definidos os objetivos, a metodologia de investigação e a organização da dissertação.

1.1 Enquadramento

Lean Production, segundo Krafcik (1988) e Womack et al. (1990), tornou-se uma abordagem amplamente reconhecida e difundida nas empresas devido à sua notoriedade na obtenção de uma maior eficiência nos processos produtivos (Alves et al., 2014). Alguns dos critérios chave relacionados com a sua implementação estão diretamente ligados à interação humana no processo de fabricação, eliminação de todas as etapas que não agreguem valor, eliminando assim o desperdício e adotando a mentalidade de melhoria contínua.

A melhoria contínua é a procura incessante de eliminação de desperdícios definida no último princípio do pensamento *Lean (Lean Thinking)* de Womack e Jones (1996): a busca da perfeição. Os quatro princípios que antecedem este são a identificação de valor, cadeia de valor, fluxo e produção puxada. Estes autores definiram estes princípios para orientar as empresas na implementação de *Lean Production*. Além das ferramentas *Lean Production*, é necessário um ambiente de trabalho promotor de mudança. Mudança de mentalidade mas também de abertura a novas tecnologias que contribuam também para a redução de desperdícios.

Com o surgimento da Indústria 4.0 (termo de origem alemã utilizado para enquadrar a 4ª revolução industrial), emerge uma promissora forma de lidar com desafios futuros no ambiente de produção (Kagermann et al., 2013). A Indústria 4.0 apresenta novas formas de desenvolvimento de produtos inteligentes, introduzindo ferramentas tecnológicas através das quais os princípios *Lean* podem ser promovidos.

No entanto, esta nova abordagem não substitui o *Lean* e ambos podem e devem ser integrados (Nunes et al., 2017) pois apesar de representar o que há de mais moderno em termos tecnológicos, a sua implementação e validação é colocada em risco sem conhecimento e utilização de práticas produtivas utilizadas ao longo da história.

A definição do termo Indústria 4.0 foi proposta pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011. No ano de 2013, um relatório financiado pelo governo alemão, que contou com a

participação de especialistas e indústrias alemãs, definia a abordagem como uma forma de promover um grande salto de competitividade por meio das aplicações e integrações de novas tecnologias (Kagermann et al., 2013).

Esta abordagem é caracterizada pela alta conectividade dos processos, produtos e serviços, representada pela *Internet of Things* (IOT). O seu conceito vem sendo amplamente discutido por acadêmicos, organizações, e seu alto nível de integração forma uma rede de trabalho que une o espaço físico e o mundo virtual através de tecnologias *Cyber-Physical Systems* (CPS) (Kagermann et al., 2013).

Dessa forma, o conceito da Indústria 4.0 pode ser interpretado como uma estratégia para aumento da competitividade no cenário futuro. Esta foca-se na otimização da cadeia de valor devido a uma produção dinâmica e autonomamente controlada (Storhagen, 1993). Isso facilita melhorias fundamentais nos processos industriais envolvidos na engenharia de manufatura, utilização de material, cadeia de fornecimento e gerenciamento do ciclo de vida. As fábricas inteligentes que já estão começando a surgir, empregam uma nova abordagem produtiva. Os produtos inteligentes são unicamente identificados, podem ser localizados em qualquer etapa do processo e conhecer o seu próprio histórico, status atual e rotas alternativas para alcançar o seu objetivo (Kagermann et al., 2013).

Alcançar a mudança de paradigma necessário para a entrega da Indústria 4.0 é um projeto de longo prazo e requer um processo gradual. Através desse processo, será essencial garantir que valores dos sistemas de manufatura atuais sejam preservados (Kagermann et al., 2013). Para isso torna-se indispensável conhecer bem os processos atuais e a forma como contribuem para acrescentar valor aos produtos. Estes devem ser produzidos com a melhor qualidade, menor custo e maior segurança num ambiente que respeite quer o cliente (interno ou externo) quer o ambiente.

Embora esta pretensão pareça óbvia e esteve sempre presente no objetivo da produção, nem sempre a indústria, quer devido à corrida apenas pelo crescimento económico quer à falta de tecnologia que o permitisse, respeitou as pessoas ou o ambiente. A Indústria 4.0 oferece essas tecnologias, que inseridas no contexto de *Lean Thinking*, irão além de promover um *mind-set* diferente (Spear, 2004; Womack & Jones, 1994; Yamamoto & Bellgran, 2010) também irão promover o crescimento económico tão desejado.

1.2 Objetivos

O principal objetivo foi avaliar de que forma a evolução tecnológica associada à Indústria 4.0, pode se beneficiar do pensamento *Lean* através de uma melhor integração dos processos e ferramentas *Lean*. Para concretizar este objetivo principal foi necessário:

- ✓ Estudar e analisar os benefícios promovidos pela integração entre os princípios *Lean Thinking*, as ferramentas *Lean* e a Indústria 4.0;
- ✓ Explorar as diversas possibilidades geradas pelo *Lean Production* em diversas áreas de atuação e a sua associação à indústria do futuro;
- ✓ Avaliar possíveis restrições e barreiras entre os dois conceitos e a integração destes;
- ✓ Compreender e analisar a evolução das ferramentas *Lean Production* visando sua integração no âmbito da Indústria 4.0.

1.3 Metodologia de Investigação

Com o objetivo de pôr em prática um modelo de trabalho a ser utilizado durante a evolução deste projeto, um processo de pesquisa foi posto em prática. Esse processo iniciou-se através de uma revisão sistemática da literatura recorrendo à diversas fontes documentais como periódicos científicos, livros, teses e dissertações, relacionados a Indústria 4.0 e ao *Lean Production*, e a interação entre ambos os tópicos.

Após a coleta de dados e informações ter sido concluída (processo descrito em maiores detalhes no capítulo 3), todas as informações pertinentes ao assunto foram sintetizadas de forma a desenvolver um conhecimento que venha a dar uma compreensão completa e detalhada do tema proposto, estruturando dessa forma o trabalho.

De forma a alcançar o objetivo do trabalho, foi realizado um estudo aprofundado acerca da metodologia *Lean Production* com foco de aplicação das suas ferramentas e princípios na Indústria 4.0. Como mencionado anteriormente, a revisão sistemática da literatura a detalhar no capítulo 3 desta dissertação, foi utilizada como base para obtenção do conhecimento necessário para evolução do trabalho e, a partir de então, obter resultados quanto a sua aplicação no cenário das *Smart Factories*. Após a obtenção de resultados, um enquadramento entre a metodologia *Lean* e a Indústria 4.0 foi realizada.

A segunda etapa envolveu a conexão entre um estudo voltado para coleta de dados e a estruturação de informações voltadas para a obtenção de conhecimento acerca do aumento do

potencial da Indústria 4.0 a partir da sua integração com os valores e princípios *Lean*, e poder dessa forma ter uma ideia do potencial que tal integração pode alcançar no futuro.

A última etapa esteve relacionada com a estruturação e definição de prós, contras e possíveis barreiras que possam existir entre os dois temas estudados. Após a obtenção da informação necessária, foi possível observar o nível de interação existente e a sua coexistência analisada. De forma a alcançar o objetivo proposto por essa dissertação, que é de investigar as contribuições do *Lean Thinking* para a implementação da Indústria 4.0 e avaliar, desta forma, a integração entre o *Lean* e a Indústria 4.0, foi necessário converter este objetivo nas seguintes questões de investigação:

- ✓ O *Lean Thinking* exerce efeito facilitador na implementação da Indústria 4.0?
- ✓ As tecnologias da Indústria 4.0 podem apoiar as práticas do *Lean Production*?
- ✓ Quais as possíveis barreiras ou restrições relacionadas com a integração entre o *Lean Production* e a Indústria 4.0?

1.4 Organização da dissertação

A organização desta dissertação se deu através da divisão em 5 capítulos e seus respectivos subtópicos. A distribuição encontra-se da seguinte maneira:

- ✓ Capítulo 1 – Introdução e enquadramento do trabalho;
- ✓ Capítulo 2 – Revisão bibliográfica (realizada de forma a apresentar os principais pilares desta dissertação: *Lean* e a Indústria 4.0);
- ✓ Capítulo 3 – Procedimento para revisão sistemática da literatura (foram apresentados os critérios utilizados de forma a conduzir a pesquisa e os resultados parciais gerados);
- ✓ Capítulo 4 – Apresentação de resultados e discussão;
- ✓ Capítulo 5 – Conclusão e trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo é realizada uma revisão acerca da metodologia *Lean Production* e da Indústria 4.0. São apresentados conceitos, origem e princípios de ferramentas, metodologias e casos de implementação de ferramentas da Indústria 4.0 no contexto de empresas *Lean*.

2.1 *Lean Production*

O conceito *Lean Production* surgiu no Japão após a segunda guerra mundial e teve suas origens no sistema produtivo da *Toyota*, *Toyota Production System* (TPS), criado por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno (Liker, 2004; Womack et al., 1990). Ao fim da segunda guerra mundial, a economia japonesa encontrava-se arrasada e a indústria, dentre elas o ramo automotivo, viram-se obrigadas a sobreviver num mercado com sérias restrições de investimentos e com uma procura decrescente (Womack et al., 1990; Drew et al., 2004).

Diante desta realidade, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, utilizaram conceitos introduzidos por Henry Ford e os adaptaram à realidade japonesa da época, desenvolvendo dessa forma um sistema produtivo cujo principal objetivo era eliminar desperdícios e a melhorar a utilização dos recursos da empresa. Este novo sistema produtivo deu origem a conceitos que revolucionaram a indústria do automóvel (Womack, 1990; Drew et al., 2004).

O TPS integra um conjunto de métodos sincronizados e ferramentas com uma mentalidade de eliminar completamente as sete formas de desperdício, reduzindo dessa forma seu *lead time* e gerar lucro através da redução de custo (Womack & Jones, 1996). O TPS define como desperdício tudo aquilo que não agrega valor: Superprodução, espera, inventário, transporte, movimentação, defeitos, retrabalho, entre outros (Tsigkas, 2012). O *Lean Production* contribui com uma reação mais rápida sobre a mudança da procura do mercado, lotes menores, processos transparentes e padronizados para a produção em massa (Womack & Jones, 1996; Monden, 2012).

A casa TPS é o símbolo dos princípios do *Lean Production*. A parte superior representa o foco sistemático na análise de indicadores chave de performance (KPI) orientado para garantir a satisfação do cliente com qualidade, tempo de entrega e custos (Womack et al. 1990; Liker, 2004). A abordagem básica se dá através da melhoria contínua da produção através de uma integração das seguintes práticas, filosofias e ferramentas: 1- 5S, 2- *Kaizen*, 3- *Just-in-Time*, 4- *Jidoka*, 5- *Heijunka*, 6- Padronização, 7- *Takt Time*, 8- Produção Puxada, 9- Envolvimento da

equipe de trabalho, 10- Eliminação de desperdícios (algumas descritas na secção 2.1.3) (Thomopoulos, 2016).

É importante salientar que para se obter êxito na prática *Lean* é importante que haja envolvimento em todos os níveis da empresa, desde a liderança até o chão de fábrica e treinamento para melhoria diária dos processos (Liker & Rother, 2011). Para tanto, a implementação da mentalidade *Lean* e os seus princípios (descritos na secção seguinte) são fundamentais para a criação de tal cultura na empresa e o sucesso da implementação de um sistema produtivo *Lean*.

2.1.1 Princípios do *Lean Thinking*

O termo *Lean Thinking* traduz um pensamento que se reflete em cinco princípios que funcionam como a base da filosofia do *Lean Production*. Estes foram definidos em Womack e Jones (1996) e, se aplicados corretamente, promovem uma estruturação das empresas voltada para a eliminação das atividades que não agregam valor ao produto do ponto de vista do cliente e que este não está disposto a pagar. Os princípios são:

- ✓ **Identificação de valor:** É o primeiro passo rumo ao *Lean*. É a busca por atender as necessidades do cliente e aquilo que ele está disposto a pagar, portanto, tudo aquilo que o cliente não está disposto a pagar é considerado desperdício e deve ser eliminado.
- ✓ **Cadeia de valor:** É o conjunto de atividades que atravessam todas as partes da organização, desde o planejamento até a comercialização de um produto, na busca pela identificação por etapas que agreguem valor para o cliente e ao produto por consequência. Assim sendo, é primordial a empresa saber diferenciar as atividades que são essenciais para geração de valor, das atividades que não agregam valor diretamente, mas são vistas como necessárias, e das atividades que não agregam valor algum, logo devem ser eliminadas.
- ✓ **Fluxo:** Após a identificação de valor e das etapas da cadeia de valor, o passo seguinte é o fluxo contínuo. *One-piece-flow* é um exemplo de fluxo onde as paragens e/ou tempos de espera entre atividades, assim como *stocks* de produto intermediário são reduzidos ou eliminados, tendo como uma de suas consequências um tempo de entrega ao cliente mínimo.
- ✓ **Produção Puxada:** A base para uma produção puxada é não produzir nada até que haja demanda. Esse princípio é baseado na procura real do produto, dessa forma, a venda de um produto funciona como um pedido para a linha de produção de modo a repor esse produto no sistema produtivo.

- ✓ **Perseguir a perfeição:** Princípio oriundo do *Kaizen* (melhoria contínua) que visa sempre a melhoria a partir de situação atual e pode ser aplicado a todos os princípios anteriores, fazendo com que novas formas de criar valor sejam exploradas.

2.1.2 Tipos de desperdícios

Segundo Liker (2004), a empresa *Toyota* desenvolveu seu sistema de produção através da eliminação de três tipos de desperdícios que são inimigos do *Lean*: *Muda*, *Mura* e *Muri* (3M), sendo resumidamente explicados como: desperdício, distribuição desigual e sobrecarga.

Segundo publicação da *Productivity Press Development Team* (1998), todas as formas de desperdício estão presentes em um certo grau em todas as indústrias. Apenas 5%, em média, do tempo que o produto está no sistema produtivo é de facto gasto em operações que acrescentam valor.

2.1.2.1 *Muda*

Desperdício (*Muda* em Japonês) é toda atividade que não agrega valor ao produto, logo, o consumidor não estará disposto a pagar por isso (Carvalho, 2008). De acordo com Liker (2004) e Ohno (1988) as formas de desperdício foram identificadas como sendo oito ao todo, elas são:

- ✓ **Produção excessiva:** O produto continua a ser manufaturado mesmo na ausência de pedidos de compra, o que resulta no acúmulo de bens acabados, ocupação de espaço, *work in progress*, aumento de inventário e investimento sem retorno imediato
- ✓ **Espera:** A espera rompe a organização do fluxo contínuo que é um dos princípios do *Lean*. Este desperdício está ligado a inoperância de funcionários, máquinas e recursos no processo.
- ✓ **Movimentação desnecessária:** Movimentação excessiva entre estações de trabalho, movimentação de máquinas entre o ponto de partida e o ponto de trabalho são exemplos desse tipo de desperdício.
- ✓ **Defeitos e retrabalho:** Produto defeituoso requer retrabalho ou substituição, consumindo dessa forma tempo, recursos e pode gerar insatisfação caso o mesmo chegue às mãos do cliente.
- ✓ **Transporte:** O transporte é o movimento de materiais de uma localização para outra e é considerado um desperdício, pois, não acrescenta valor ao produto.
- ✓ **Excesso de inventário:** *Stock* é considerado “dinheiro parado” e enquanto o produto não é vendido ao cliente, tudo aquilo que representa *stock* representa custo. Inventário tem

de ser estocado, transportado e eventualmente pode vir a ser danificado, representando dessa forma um desperdício.

- ✓ **Processamento excessivo:** A utilização de equipamentos mal dimensionados, que não trabalham na capacidade ideal de produção, a utilização de técnicas não necessárias para alcançar o objetivo esperado e a falta de cumprimento de uma sequência lógica, são exemplos de atividades que não agregam valor, portanto, são desperdícios.
- ✓ **Conhecimento (pessoas):** Desperdício decorrente do conhecimento intelectual e habilidades de colaboradores que não são bem aproveitadas. Os funcionários são considerados um importante ativo da empresa de acordo com a filosofia *Lean* e podem ser de fundamental importância no processo de eliminação dos desperdícios.

2.1.2.2 Mura

Mura significa variação, é vista por Liker (2004) como causa para *Muda* e pode se apresentar em duas formas: variação na programação e ritmo do trabalho, e carga de trabalho de produção desigual (Pieńkowski, 2014).

O termo *Muda* é usualmente utilizado pela Toyota quando se referem sobre desperdício; porém, os outros dois M (*Muri* e *Mura*) também são relevantes para se realizar um trabalho *Lean*, uma vez que eles funcionam como um sistema. Sendo assim, atuar apenas nos oito desperdícios (*Muda*) pode gerar como consequência uma alteração na produtividade das pessoas e no sistema de produção – *Muri* e *Mura* (Liker, 2004).

2.1.2.3 Muri

Esta definição significa sobrecarga e pode estar relacionado com os recursos (máquinas e/ou pessoas). Esta sobrecarga apresenta como consequência o *stress* do funcionário reduzindo sua capacidade de trabalho (Pieńkowski, 2014) e o aumento do número de defeitos e avarias (Liker, 2004).

2.1.3 Ferramentas

As secções anteriores abordam tópicos, princípios e tipos de desperdícios que são fundamentais no processo de enquadramento à filosofia *Lean*. As ferramentas são recursos a serem utilizados após perfeito entendimento dos princípios *Lean Thinking* e do próprio processo.

Segundo Plenert (2007) existem, pelo menos, 27 ferramentas associadas ao *Lean Production*, no entanto, muitas outras existem (Wilson, 2010; Feld, 2000). Essas ferramentas são utilizadas para analisar o processo existente e melhorar o sistema atual. Apenas algumas das principais ferramentas são abordadas nas secções seguintes.

2.1.3.1 Value Stream Mapping (VSM)

De acordo com Plenert (2007), o VSM cria uma descrição visual do fluxo de valor olhando para o sistema como um todo, incluindo todas as entradas, processos e saídas. No fim, a ferramenta se torna uma fundação para desenvolver um plano de melhoria através da apresentação da imagem completa dos processos envolvidos, conforme pode ser visto na Figura 1. Ainda segundo Plenert (2007), o VSM é dividido em quatro etapas. Elas são: Preparação, mapa de estado atual, mapa de estado futuro e plano de melhoria.

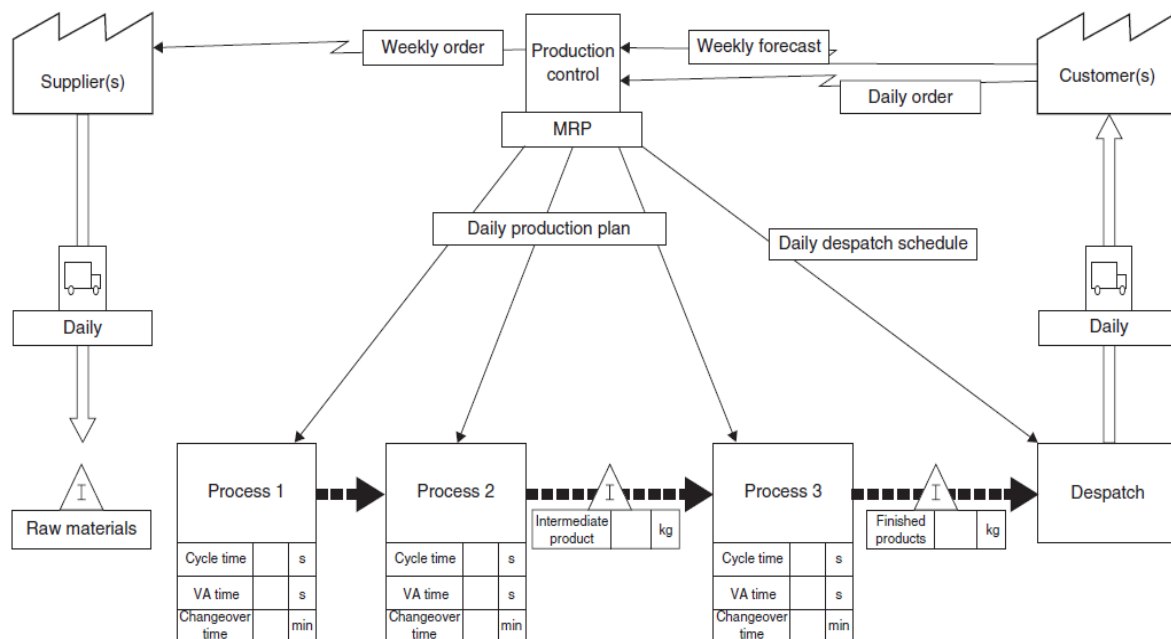


Figura 1: Exemplo de um VSM (Fonte: Norton, 2007)

Segundo Norton e Fearnle (2009), *Value Stream Mapping* é uma técnica de diagnóstico oriunda dos princípios *Lean Manufacturing*. O seu propósito é identificar atividades que acrescentam e que também não acrescentam valor, de forma a promover a eliminação das atividades não agregadoras de valor, e promover um alinhamento da produção com a demanda (Rother & Shook, 2003).

2.1.3.2 Técnica 5S

Os 5S é considerado mais uma prática do que uma técnica usada para estabelecer e manter um ambiente de qualidade em uma organização. Esta prática defende o que manter, onde manter e como manter os itens necessários no local de trabalho. Isso se baseia no princípio de que um bom ambiente motiva o trabalhador a produzir produtos ou serviços de qualidade com pouco ou nenhum desperdício e com alta produtividade (Kiran, 2017; Plenert, 2007).

Um ambiente ou local de trabalho não adequado, sujo ou desorganizado, distrai a atenção do trabalhador, dando espaço para que mais defeitos sejam produzidos. Este conceito é usado hoje não apenas para melhorar o ambiente de trabalho, mas também para melhorar a conscientização, o pensamento e a filosofia de trabalho. O 5S inspira um senso de propriedade entre os trabalhadores, tornando-o mais responsável por seu local de trabalho (Plenert, 2007). Conforme visto na Figura 2, o nome 5S representa os cinco termos japoneses: *Seiri*, *Seiton*, *Seisou*, *Seiketsu* e *Shitsuke*.



Figura 2: Representação do 5S (Fonte: Francisco, 2015)

Ao formalizar essa técnica, os japoneses estabeleceram a estrutura que permitiu que eles transmitissem com sucesso a mensagem para toda a organização e conseguissem o envolvimento total dos funcionários e implementassem a prática com sucesso. Em suma, pode-se dizer que o 5S é uma abordagem sistemática e racional para um local de trabalho seguro e livre de desordem, com o objetivo de reduzir o desperdício e preparar o terreno para mais melhorias (Kiran, 2017).

2.1.3.3 Kaizen

De acordo com Moore (2006), no *Lean Production* é de fundamental importância a busca pela melhoria, e nesse sentido o *Kaizen* é essencial. Segundo Araujo & Rentes (2006), *Kaizen* significa a melhoria contínua de um processo com o objetivo de criar mais valor com menos desperdício, este é contínuo e acontece diariamente. Segundo Imai (1997) e Moore (2006), *Kaizen* é uma abordagem considerada econômica, discreta e de baixo risco se comparado com grandes inovações que são associadas à grandes investimentos e geralmente são problemáticas.

Em uma situação onde seja necessário obter uma rápida melhoria, um evento *Kaizen* pode ser realizado, este evento reúne uma equipe responsável pela resolução do problema. De forma a obter-se sucesso na sua realização, o evento *Kaizen* deve ser supervisionado e apoiado pela gestão de topo constantemente (Ortiz, 2006).

Como relatado por Kumiega & Van Vliet (2008), a melhoria contínua é um esforço contínuo para melhorar um método, processo ou tecnologia que já não são mais capazes de apresentar uma vantagem competitiva. Segundo os mesmos autores, existem diversas metodologias em busca da melhoria contínua, sendo a mais amplamente utilizada, conforme apresentado na Figura 3, o ciclo PDCA. Existem outros métodos que são também bastante utilizados como o *Six Sigma*, e *Total Quality Management* (Markarian, 2004; Kiran, 2017).



Figura 3: Ciclo PDCA (Fonte: Periard, 2011)

2.1.3.4 Standard Work

Para Feng & Ballard (2008) *standard work* é um método onde é definido como as operações devem ser conduzidas em uma estação de trabalho de um sistema de produção, prevenindo que os operadores executem as operações de forma aleatória. De acordo com a publicação da *The Productivity Press* (2002), a padronização do trabalho é fundamental para a melhoria contínua, sendo através da documentação do trabalho e a padronização da execução do mesmo, possível criar a base para a fundação da metodologia *Kaizen*, tendo em vista que o *standard work* envolve a melhoria contínua.

2.1.3.5 Produção Pull (*Just in Time*)

De acordo com Ohno (1988), *Just in Time* (JIT) assim como o *Jidoka*, é considerado um dos pilares do TPS. Sistema de produção JIT tem como objetivo fundamental processar apenas o que é necessário, quando necessário e na quantidade necessária. No processo de produção, o JIT determina que os trabalhadores foquem apenas na sua etapa ou componente sem se preocupar com qualquer processo antes ou depois dele. *Just in Time* utiliza o sistema *Pull* (puxado), de forma que nada é introduzido no processo até que seja solicitado (Plenert, 2007).

Um sistema *Pull*, segundo McCarthy & Rich, (2015), opera com uma quantidade pequena e definida de materiais que está lá para os clientes (internos ou externos) para remover o estoque e satisfazer a demanda. Ainda segundo os autores, a ação de um cliente removendo o estoque cria atração para o estágio de produção anterior para reabastecer o estoque consumido.

2.1.3.6 *Jidoka*

Segundo Ohno (1988), *Jidoka* é uma das ferramentas consideradas como um dos pilares do TPS. *Jidoka*, cujo significado é automação com toque humano, confere a capacidade de parar uma determinada etapa de um determinado processo em caso de não conformidade (Ohno, 1988; Becker & Scholl, 2006). Está relacionado ao conceito *Jidoka* a autonomia do operador para analisar a máquina ou a produção em situações onde alguma anomalia é detectada e nesse sentido o colaborador é essencial para o sucesso da empresa. De acordo com Ghinato (1995), a detecção de anormalidades e a paralisação da operação, para aplicação de imediata ação corretiva é a principal função da automação.

2.1.3.7 *One-Piece Flow*

O *one-piece flow* descreve a sequência de um produto, ou de atividades transacionais, por meio de uma unidade de processo por vez. Em contraste, o processamento em lote cria muitos produtos ou funciona em um grande número de uma só vez que é enviado de forma conjunta por cada etapa do processo (Liker, 2004). O objetivo do *one-piece flow* é fazer uma etapa de cada vez, sem interrupções não planejadas e longos tempos de fila.

Segundo Ani (2012) *one-piece flow* é o estado que existe quando os produtos se movem através de um processo, uma unidade de cada vez, a uma taxa determinada pelas necessidades do cliente (*takt time*). Ainda segundo Liker (2004), a implementação de *one-piece flow* pode gerar dramáticas reduções de *work in progress* (WIP). Esse sistema funciona melhor quando combinado com um *layout* celular onde todos os equipamentos necessários estão localizados dentro de uma célula em uma sequência a ser utilizada (Ani, 2012).

De acordo com Plenert (2007), as células podem ser categorizadas de acordo com o produto ou processo a que se destinam, sendo a configuração em forma de “U” uma das mais populares. Ainda segundo o autor, além de reduzir o WIP e o nível de inventário como um todo, a célula também reduz a quantidade de espaço de trabalho necessária para executar o processo de produção, reduzindo o armazenamento parcial e as transferências.

O padrão *one-piece flow* pode ser visto na Figura 4. A partir da entrada até a saída da célula, cada componente move-se individualmente sem acúmulo de WIP entre as estações.

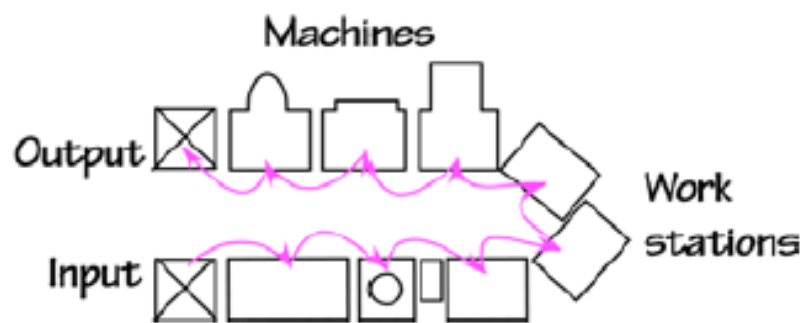


Figura 4: *One-piece flow* através de uma célula (Fonte: Baudin, 2001)

One-piece flow é um dos conceitos-chaves no *Lean Production*, na maioria dos casos, uma etapa de fluxo de valor pode ser transformada em uma operação de fluxo de valor, todavia nem sempre é possível enquadrar uma operação de ponta a ponta como *one-piece flow*. Fabricantes devem se esforçar continuamente para melhorar seus processos e chegarem cada vez mais perto do *one-piece flow*, tendo em vista que isto irá reduzir por exemplo seus níveis de inventário e *lead time* (Ani, 2012).

2.1.3.8 *Single Minute Exchange of Dies (SMED)*

A troca rápida de ferramentas também conhecida como *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) foi desenvolvida e introduzida por Shingo (1985). SMED pode ser um método bastante eficiente para redução de inventário e principalmente tempos de trocas na área de produção entre diferentes lotes, produtos ou setups de máquinas especialmente através da conversão de etapas internas (quando a máquina está parada) em etapas externas (máquina em operação) e encurtar as etapas restantes (Shingo, 1985; Demeter & Matyuz, 2011; Dave & Sohani, 2012).

Como ilustrado na Figura 5, a análise do tempo de troca de ferramenta segundo Ulutas (2011), é definido como um método de análise e redução do tempo necessário para a mudança em uma dada etapa do processo, para que seja possível iniciar a produção de um outro produto.

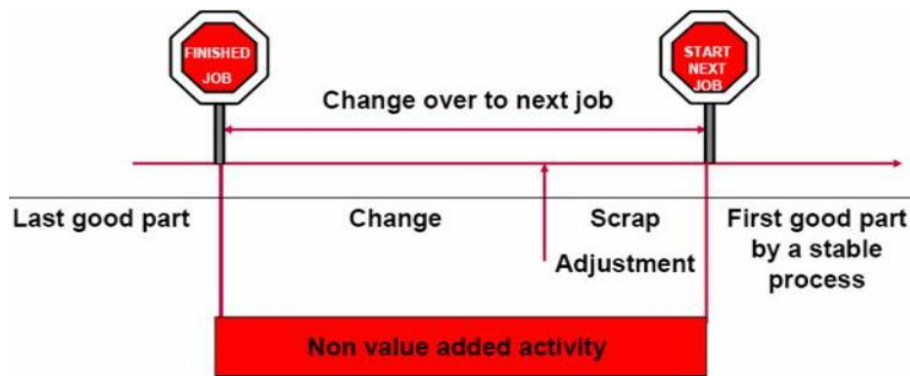


Figura 5: Representação SMED (Fonte: adaptado de Ulutas, 2011)

2.1.3.9 Mecanismos Poka Yoke

Poka Yoke é um termo japonês para “à prova de erro” e segundo Plenert (2007) é um método para redesenhar processos de uma maneira a prevenir erros. Ainda segundo o autor, é uma das ferramentas de melhoria da qualidade fundamentais em qualquer processo *Lean*. Segundo Liker (2004), mecanismos *Poka Yoke* são dispositivos que fazem com que seja quase impossível que um operador cometa um erro em uma determinada etapa do processo.

Segundo Rodrigues (2014), os *Poka Yoke* podem ser divididos quanto a função de regulação ou de detecção, conforme ilustrado na Figura 6.

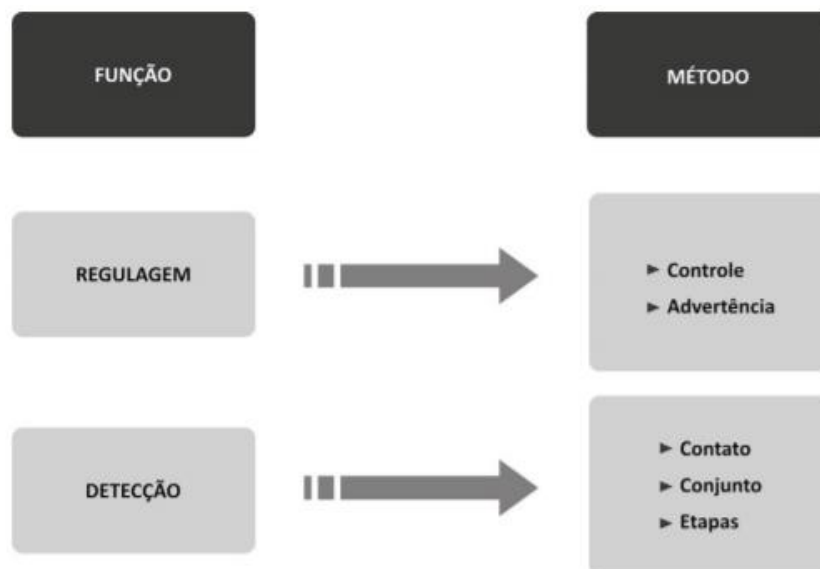


Figura 6: Poka Yoke - funções e métodos (Fonte: Rodrigues, 2014)

2.1.3.10 Sistema Milk-Run

O sistema *Milk-run* é um método que busca operacionalizar de maneira eficaz o suprimento de materiais em uma linha de produção (Rodrigues, 2014). São sistemas de transporte nos quais/*/ materiais são distribuídos a partir de um armazém central para diversos pontos de uso através

de rotas pré-definidas e em curtos intervalos de tempo. A partir do seu uso, torna-se possível uma distribuição frequente e em pequenos lotes, resultando em uma redução do *lead time* e do inventário no ponto de uso (Klenk et al., 2015).

De acordo com Rodrigues (2014), a partir da implementação do sistema *milk-run*, as organizações passam a gerenciar e controlar todo o fluxo de materiais com origem nos fornecedores, contribuindo de maneira mais eficaz para a filosofia *Just in Time*. Ainda segundo o autor, o sistema *milk-run* (Figura 7), além de poder ser controlado pela organização, pode ser operacionalizado por um operador logístico a partir de um plano de produção definido pela indústria ou por uma transportadora, com roteiro e ações disciplinados pela indústria.

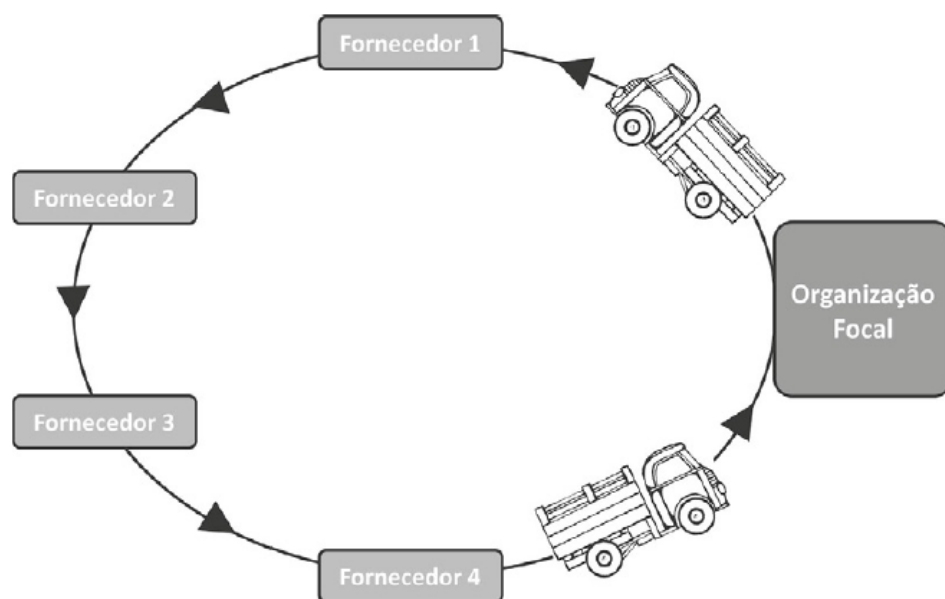


Figura 7: Representação sistema Milk Run (Fonte: Rodrigues, 2014)

2.2 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 é utilizado para descrever a 4ª revolução industrial que está em andamento, e se tornou mundialmente conhecido após a sua divulgação durante a feira de Hannover em 2011. Na Figura 8 é possível observar o quadro evolutivo até à 4ª revolução industrial.

Em abril de 2013, o “*Industry 4.0 Work Group*” divulgou as primeiras recomendações para a implementação da Indústria 4.0. O governo alemão apoiou a ideia e a posicionou como parte integral da sua iniciativa “*High-Tech Strategy 2020 for Germany*”, visando estabelecer a Alemanha com uma liderança tecnológica na inovação industrial (Kagermann et al., 2013).

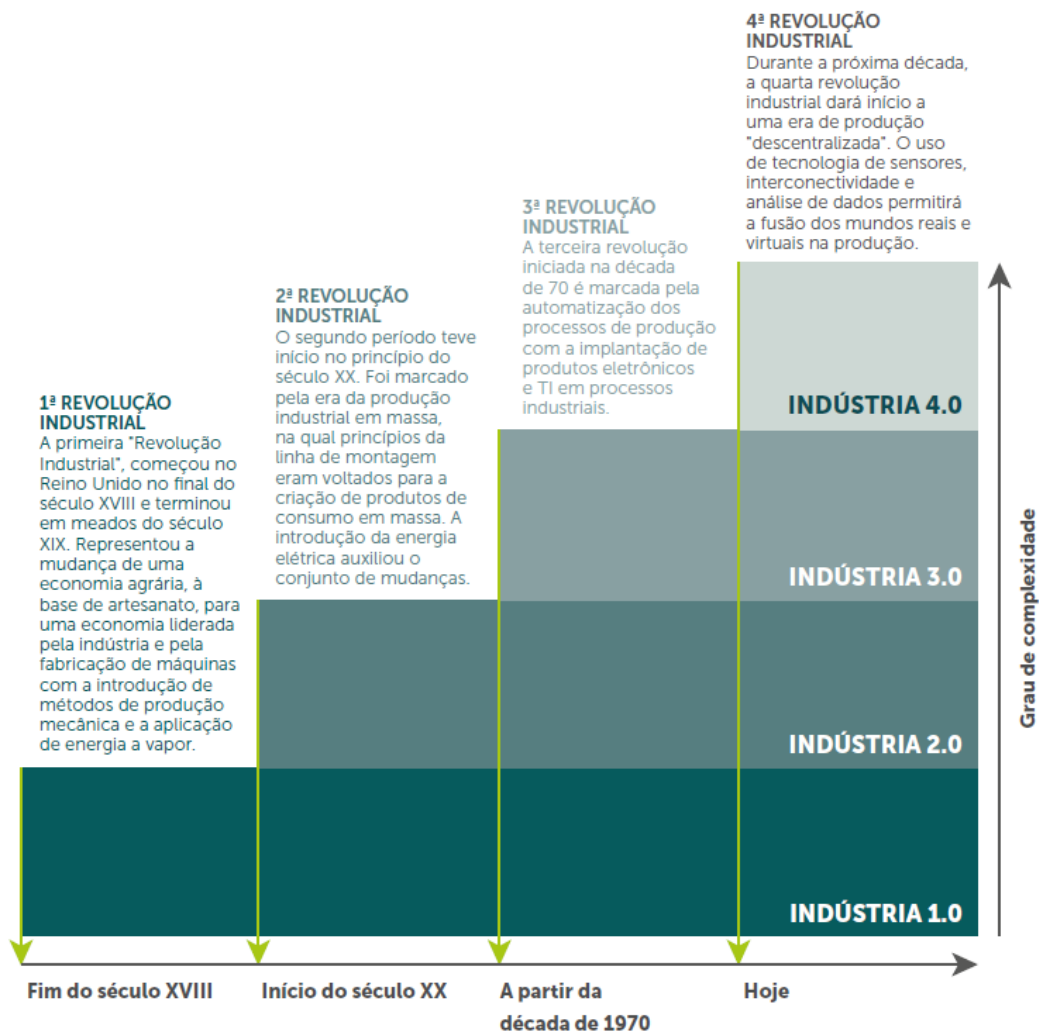


Figura 8: Representação da revolução industrial (Fonte: adaptado de Deloitte, 2015)

Segundo a chanceler da Alemanha, Angela Merkel, o conceito da Indústria 4.0 pode ser definido como “a transformação completa de toda a esfera da produção industrial através da fusão da tecnologia digital e da internet com a indústria convencional”. Apesar da origem alemã, o conceito se expandiu para outros países do mundo sob diversas iniciativas de governos como uma tendência tecnológica mundial. A companhia americana *General Electric*, por exemplo, promove uma ideia similar sob o nome *Industrial Internet* (Evans & Annunziata, 2012). Outras ideias similares podem ser encontradas sob o nome *Integrated Industry* (Bürger & Tragl, 2014) e *Smart Industry* (Dais, 2014).

2.2.1 Componentes-chave

Segundo estudo divulgado pela *Technische Universität Dortmund*, existem quatro componentes chave para a formação da Indústria 4.0 (Hermann et al., 2015). Estes são *Cyber-Physical Systems (CPS)*, *Internet of Things (IoT)*, *Internet of Services (IoS)* e *Smart Factory*. Associadas a estes componentes tem-se muitas tecnologias. De acordo com Mittal et al. (2017), existem ao

menos 38 diferentes tecnologias associadas aos diferentes componentes-chave da Indústria 4.0. Nas secções seguintes explicam-se os componentes-chave e principais tecnologias associadas.

2.2.2.1 Cyber-Physical Systems (CPS)

É um importante componente que representa a fusão do mundo físico com o mundo virtual. Os CPS (Figura 9) usam sensores para conectar toda a inteligência distribuída no ambiente industrial para obter um conhecimento mais profundo do processo como um todo, o que possibilita ações e tarefas mais precisas. Compõem os CPS: uma unidade de controle, que comanda os sensores e atuadores (responsáveis pela interação com o mundo físico) tecnologias de identificação (ex. identificação por radiofrequência – RFID), mecanismos de armazenamento e análise de dados.

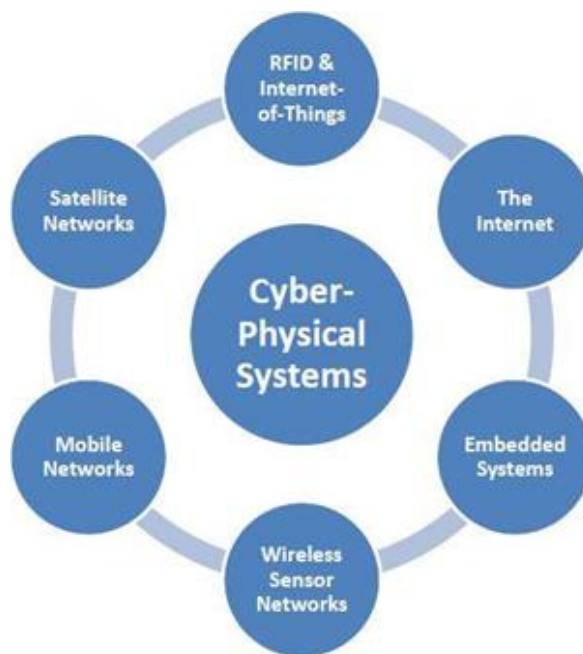


Figura 9: Componentes de um CPS em larga escala (Fonte: Abosaq & Pervez, 2016)

2.2.2.2 Internet of Things (IoT)

É a rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada para comunicar e/ou interagir com ambientes internos e externos. A IoT (Figura 10) representa um cenário no qual cada objeto ou "coisa" é incorporado a um sensor e é capaz de comunicar automaticamente seu estado com outros objetos e sistemas automatizados no ambiente. Cada objeto representa um nó em uma rede virtual, transmitindo continuamente um grande volume de dados sobre si mesmo e seus arredores (Satyavolu et al., 2015).

Como exemplo de utilização da IoT, pode-se citar o uso de tecnologia RFID para melhorar o fluxo de produção. Conforme relatado na pesquisa de Costa et al. (2017), é esperado no longo

prazo, a partir da utilização de tal tecnologia de rastreabilidade, a redução de custos relacionados a perda de material, transporte e erro humano.

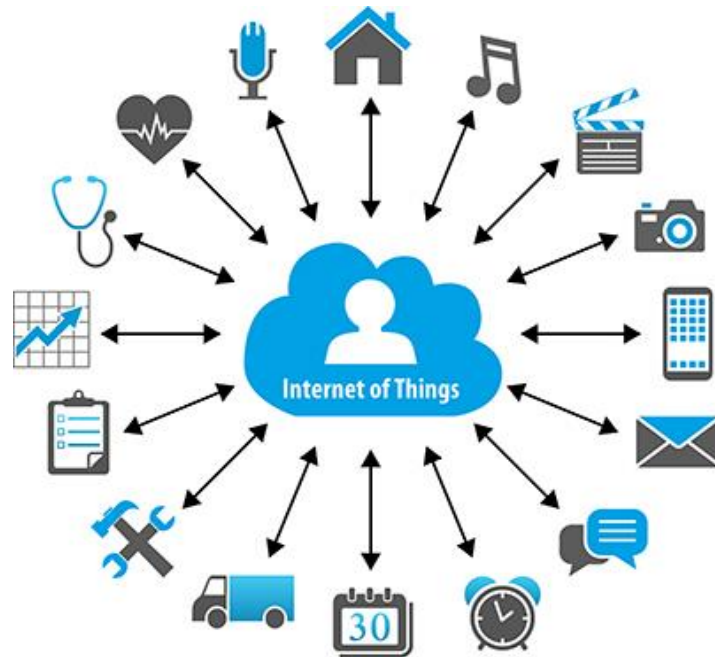


Figura 10: Internet of Things (Fonte: Gipson, 2017)

2.2.2.3 Internet of Services (IoS)

Associado ao perfeito funcionamento da IoT, será alcançado um novo patamar na agregação de valor, diretamente ligado a qualidade dos dados analisados e processados conjuntamente entre a IoT e IoS. Uma nova dinâmica de distribuição e aumento de valor agregado é resultante a partir do surgimento de novos serviços, e melhoria de serviços existentes visando satisfazer as necessidades do cliente. Estas tecnologias de produção serão oferecidas pela IoS (Figura 11) e podem ser usadas para fabricar produtos ou compensar capacidades de produção (Sheer, 2013; Hermann et al., 2015).

Segundo Brown (2018), a Indústria 4.0 pode dar uma nova dinâmica a forma de atuação do setor de manufatura, dando uma ênfase maior na parte de serviços, tendo em vista que atualmente eles são responsáveis por até 55% do total de vendas em algumas indústrias.

Ainda segundo a mesma publicação, a *Rolls Royce*, por exemplo, atualmente cede uma parcela das suas turbinas para companhias aéreas e analisa os dados de performance através de sensores embarcados, para dessa forma agendar a manutenção preventiva dos mesmos e minimizar o *down time*, passando a faturar pelo serviço de manutenção ao invés de faturar apenas com a venda da turbina.

Outro exemplo citado pelo autor é o caso da sueca SKF, fabricante de rolamentos, que não apenas fornece a manutenção preventiva dos componentes rotativos, como também permite que o cliente realize o diagnóstico de problemas através de aplicativos. A empresa usa informações do aplicativo para melhorar design, desenvolver soluções e oferecer novos serviços.

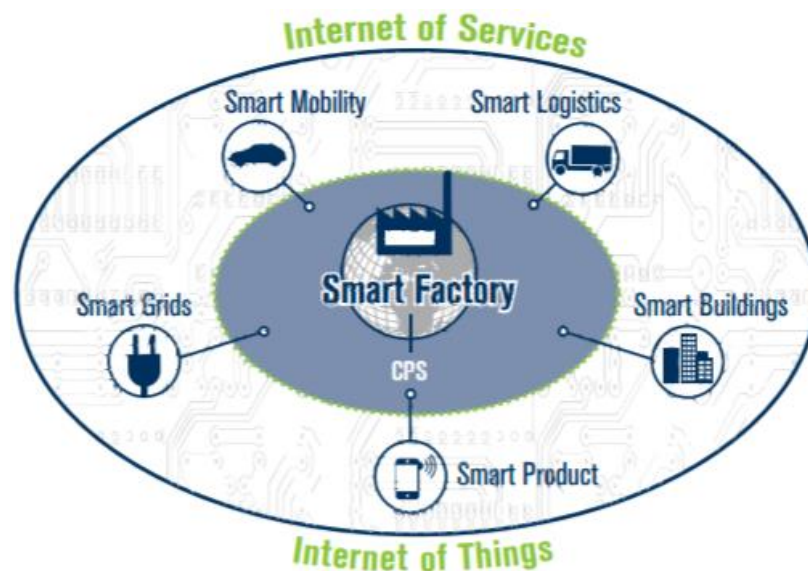


Figura 11: Representação da fábrica inteligente (Fonte: Kagermann, 2013)

2.2.2.4 Smart Factory

Segundo Kagermann (2013), a *Smart Factory* é uma peça chave na Indústria 4.0. Baseado nas definições de CPS e IoT/IoS, a *Smart factory* pode ser definida como uma fábrica onde o CPS se comunica através da IoT/IoS, e trabalha no auxílio de funcionários e máquinas na execução de suas tarefas (Hermann et al., 2015).

Como exemplo de uma *Smart Factory*, pode-se destacar a empresa alemã *Wittenstein*, fabricante de transmissões e servossistemas, que está organizada de acordo com os princípios *Lean production*. Para a implementação de um sistema de coleta de materiais guiado pela demanda, faz-se uso de equipamentos de transporte inteligente. Ele relata quando um certo componente está pronto para ser coletado e somente autoriza o transporte quando existe demanda. Isso ajuda a reduzir o desperdício, libertando os trabalhadores de uma atividade desnecessária (Schlick et al., 2014).

2.2.2 Principais características

De acordo com o estudo da Deloitte (2015), na publicação "*Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*", existem quatro

principais características (Figura 13) que demonstram o potencial de mudança da Indústria 4.0 com relação ao sistema de manufatura atual.

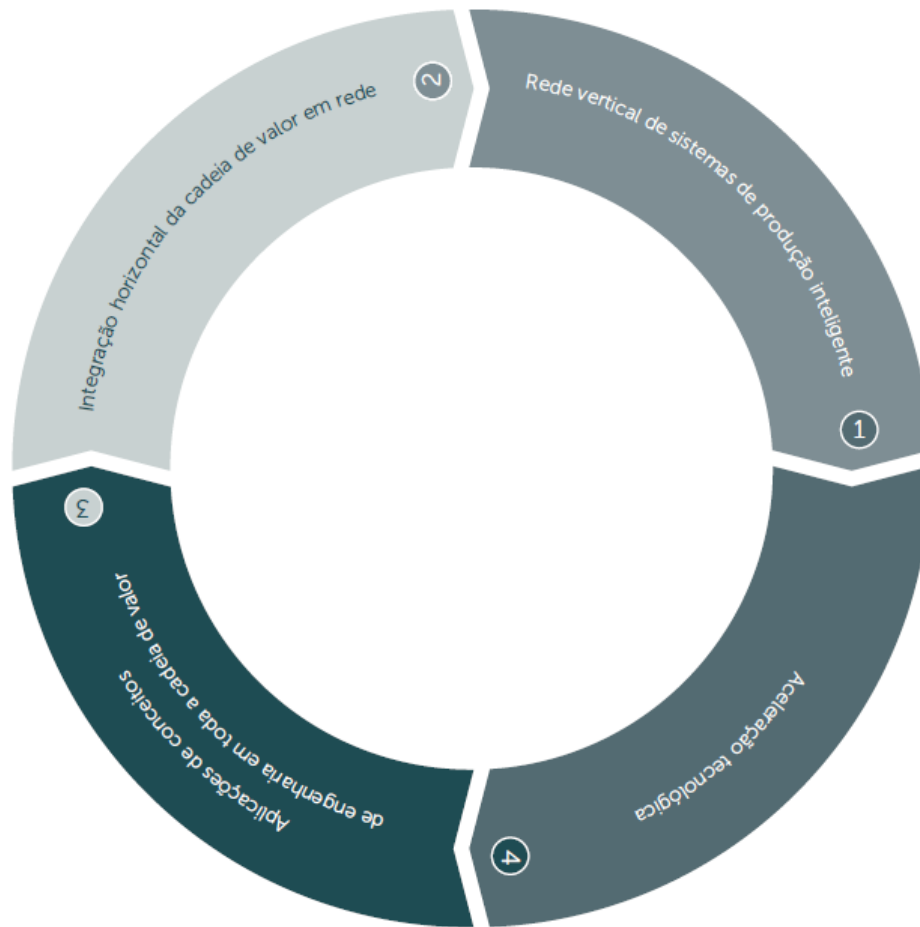


Figura 13: As quatro características do potencial de mudança da Indústria 4.0 (Fonte: adaptado de Deloitte, 2015)

Essas características podem ser associadas como fases, que trabalhando conjuntamente, proporcionam aumento de valor em um círculo virtuoso (FIRJAN, 2016). Estas são:

✓ **Rede vertical de sistemas de produção inteligente**

Considerada a principal característica da Indústria 4.0, a rede vertical de sistema de produção inteligente utiliza o CPS para reagir rapidamente a mudanças no nível de demanda, estoque e possíveis falhas. Todas as etapas de processamento, inclusive as discrepâncias, são registradas automaticamente (Deloitte, 2015). Em outras palavras, é o conceito da produção verticalizada aplicado aos sistemas de produção inteligente, em que a empresa passará a ter o controle total da produção através de sistemas inteligentes.

✓ **Integração horizontal da cadeia de valor em rede**

É vista como a segunda característica mais importante da Indústria 4.0, através da formação de uma nova cadeia de valor global. Essas novas redes de criação de valor são redes

otimizadas em tempo real que permitem transparência integrada, oferecem um alto nível de flexibilidade para responder mais rapidamente a não conformidades e facilitar uma melhor otimização global. Em resumo, a história de qualquer peça ou produto passa a ser registrada e pode ser acessada a qualquer momento, garantindo constante rastreabilidade e flexibilidade. Dessa forma, a empresa não perderá controle do processo mesmo em caso de terceirizações (ex. sistemas integrados de logística). Este tipo de integração horizontal tem potencial de gerar novos modelos de negócio e novos modelos de cooperação (Deloitte, 2015).

✓ **Aplicações de conceitos de engenharia em toda a cadeia de valor**

Segundo publicação da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, a etapa de produção e desenvolvimento de novos bens manufaturados será marcada pela possibilidade de realizar adaptações e melhorias nos produtos através da utilização de dados coletados em todas as fases do seu ciclo de vida, inclusive dados de uso pelo cliente, em tempo real.

✓ **Aceleração tecnológica**

De acordo com estudo da Deloitte (2015), a quarta principal característica da Indústria 4.0 é o impacto exponencial de tecnologias como um acelerador ou catalisador que permite soluções individualizadas, flexibilidade e economia de custos em processos industriais. Entre estas tecnologias se encontram a manufatura aditiva, robótica avançada, inteligência artificial e a IoT.

2.2.3 Impacto da Indústria 4.0

O impacto causado pela Indústria 4.0 é mais profundo do que apenas a digitalização, envolvendo uma profunda forma de inovação baseada na combinação de múltiplas tecnologias, que forçará as empresas a repensar a forma como gerem os seus processos e negócios, como se posicionam na cadeia de valor, como promovem o desenvolvimento de novos produtos e os introduzem no mercado.

É preciso compreender que as alterações serão verificadas em ambos os lados da cadeia de abastecimento, tanto a nível das exigências dos clientes, como dos parceiros de negócio. De acordo com Klaus Schwab, no seu livro *“The fourth Industrial Revolution”*, são quatro as principais alterações esperadas na indústria em geral:

- ✓ Alterações nas expectativas dos clientes;
- ✓ Produtos mais inteligentes;
- ✓ Novas formas de colaboração e parcerias;

- ✓ A transformação do modelo operacional e conversão em modelo digital.

Segundo Almada-Lobo (2016), o monitoramento de dados em tempo real, o rastreamento do status e das posições do produto, bem como a manutenção das instruções para controlar os processos de produção são as principais vertentes da Indústria 4.0, de forma que cada componente do processo produtivo esteja conectado e interagindo com o ambiente ao seu redor, sendo este fator diretamente ligado a mudança de paradigma envolvendo os valores atuais.

Diante de tamanha revolução proporcionada pela evolução da indústria, é possível que num futuro próximo tais sistemas possam implicar enormes impactos tanto no conteúdo do trabalho quanto na organização do trabalho, e podem mudar a forma como o fator humano está participando e agregando valor em muitas cadeias de valor industriais (Bauernhansl, 2014).

Além das tecnologias básicas, também é importante mencionar que os seres humanos desempenham um papel fundamental na Indústria 4.0 (Butzer et al., 2016). Os seres humanos têm vantagens em relação às máquinas devido à criatividade, experiência e resolução de problemas, devido às suas habilidades senso motoras (Bauernhansl et al., 2014). A tarefa dos seres humanos dentro da Indústria 4.0 é definir os objetivos e as regras de produção, enquanto que os CPS, são capazes de verificar e otimizar sistemas de produção inteiros. Além disso, os humanos são responsáveis pela gestão do CPS ao longo de todo o ciclo de vida do respectivo sistema (Sendler et al., 2013). No entanto, para poder usar todo o potencial da Indústria 4.0, é necessário que os humanos, respectivamente usuários, sejam capazes de entender a Indústria 4.0 e capazes de trabalhar com as tecnologias no cotidiano de trabalho (Bauernhansl et al., 2014).

De acordo com Brown (2018), a natureza do trabalho no chão de fábrica irá requerer empregados mais bem capacitados. Ao invés de operar uma única máquina e monitorar a sua saída, os colaboradores precisarão saber como trabalhar com computadores para monitorar diversas máquinas de uma só vez e utilizar ferramentas automatizadas para diagnosticar e resolver problemas de qualidade. Ainda segundo a publicação, esse novo requisito tornará essenciais competências que antigamente eram raramente requisitadas de um trabalhador de linha produtiva, como por exemplo: pensamento crítico, resolução de problemas, gestão de problemas e tomadas de decisão.

2.3 Análise crítica

A breve revisão realizada neste capítulo permitiu ao autor desta dissertação refletir sobre estes dois conceitos que embora com origens e momentos de aparecimento tão distintos procuram o

mesmo: reduzir o custo e aumentar a produtividade das empresas. No entanto, fazem-no de forma diferente, o *Lean Thinking* através da redução de desperdícios e a Indústria 4.0 através da exploração de novas tecnologias potenciadas pela IoT.

Adicionalmente, embora com diferentes abordagens, estas podem e devem ser complementares, pois, a implementação do *Lean Thinking* levará uma empresa a formar pensadores (Alves et al., 2012) que serão fundamentais na mudança exigida pela Indústria 4.0. Para esta formação vai ser necessário que estes colaboradores adquiram as competências referidas na publicação de maio de 2018 da *Mechanical Engineering The magazine of ASME* (Brown, 2018). Espera-se, no entanto, que as novas tecnologias possam também ajudar nesta formação e na tomada de decisões corretas através de plataformas de trabalho colaborativo, plataformas de ensino e das “*learning factories*” (Meissner et al., 2018; Blöchl & Schneider, 2016; Prinz et al., 2018).

Alguns investigadores têm já realizado algum trabalho nessa área embora a literatura ainda seja muito difusa quanto a este assunto, havendo investigadores que veem o LT e I4.0 como conceitos que apresentam possíveis limitações quanto à sua compatibilidade (Ma et al., 2017; Kolberg et al., 2017; Yin et al., 2017). Assim, no contexto da revisão sistemática realizada nesta dissertação procura-se avaliar o efeito facilitador do LT na implementação da I4.0, as tecnologias que podem apoiar/inibir as práticas do LP e possíveis barreiras ou restrições à integração de LP e I4.0

3. PROCEDIMENTO PARA A REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Este capítulo apresenta o procedimento usado na revisão sistemática de literatura que foi o método de investigação empregado para desenvolver esta dissertação e responder às perguntas de investigação levantadas na secção 1.3.

3.1 Definição e benefícios

Uma revisão sistemática da literatura (RSL) é um importante processo de pesquisa de investigação que usa uma estratégia pré-planeada de pesquisa e não simplesmente uma revisão de pesquisas anteriores. Este tipo de revisão tem como objetivo responder a questões de pesquisa específicas e é uma metodologia que localiza estudos existentes, seleciona e avalia contribuições, analisa e sintetiza dados, e relata as evidências de tal forma que permite ao investigador retirar as suas próprias conclusões sobre o que é e não é conhecido (Denyer & Tranfield, 2009; Thomé et al., 2016).

A RSL reúne os resultados de diferentes estudos sobre um assunto escolhido com o objetivo de alcançar uma maior compreensão sobre o tema, e atingir um nível de desenvolvimento conceitual ou teórico além do que pode ser obtido por qualquer estudo individual (Campbell et al., 2003; Thomé et al., 2016). A necessidade de revisões sistemáticas para avaliar a crescente proliferação de pesquisas individuais tornou-se mais importante nos últimos anos (Mallet & Clarke, 2003; Bastian et al., 2010).

Uma revisão sistemática da literatura abrange todos, ou a maioria dos nove pontos seguintes (Mulrow, 1994; Thomé et al., 2016):

1. Contribui para reduzir grandes quantidades de informação.
2. Integra "peças críticas" de informação para a tomada de decisões, pesquisa e política.
3. Geralmente é uma técnica científica menos dispendiosa do que uma nova pesquisa, especialmente se for atualizada continuamente.
4. Facilita a generalização dos resultados, reagrupando resultados semelhantes de diferentes populações ou intervenções.
5. Permite uma avaliação sistemática das relações entre variáveis.
6. Coloca em evidência e ajuda a explicar inconsistência de dados e contraditórios de descobertas em um determinado campo.
7. Aumenta o poder estatístico na síntese quantitativa.
8. Aumenta a precisão na estimativa de riscos estatísticos.

9. Reporta sistematicamente procedimentos e métodos, resultando em uma maior a precisão ou pelo menos permitir a verificação.

3.2 Procedimento de implementação

A metodologia de trabalho utilizada para se realizar a revisão sistemática da literatura envolveu os seguintes passos (Denyer & Tranfield, 2009): 1) formulação da questão, 2) localização dos estudos; 3) seleção e avaliação dos estudos 4) síntese e análise, 5) apresentação e interpretação dos resultados. A Tabela 1 apresenta o resumo do procedimento na revisão realizada nesta dissertação.

Ao procurar quais as contribuições do LT para a implementação do I4.0 foi importante, tal como já referido na secção 1.3, transformar esse objetivo em questões que pudessem ser respondidas através da RSL. Essas questões estão na primeira linha da Tabela 1, tendo sido o principal motor da pesquisa efetuada.

O primeiro passo utilizado na elaboração deste trabalho esteve diretamente relacionado com a busca do conhecimento sobre o que existe de mais atual e relevante na literatura sobre os principais pilares desta dissertação, que é o *Lean Production* e a Indústria 4.0, com o objetivo de estabelecer uma linha de raciocínio capaz de responder as perguntas de investigação.

O segundo passo associado à localização dos estudos, que é descrito na secção 3.2.1, determina onde as fontes foram coletadas e como se deu o controle das mesmas. O terceiro passo associado à seleção e avaliação dos estudos, detalhado na secção 3.2.2, relaciona-se a etapa de busca da literatura onde o procedimento utilizado, os critérios de exclusão e os critérios de classificação foram aplicados de forma a determinar as fontes a serem utilizadas.

A etapa de síntese e análise de dados, foi realizada através da categorização dos artigos escolhidos em título, autor, ano, revista de publicação, tipo de pesquisa e tema abordado. Os dados obtidos nesta etapa foram tratados no capítulo seguinte (Cap.4) assim como a apresentação, interpretação e discussão dos resultados que são demonstrados através de gráficos e tabelas.

Os resultados foram categorizados de forma a dar um melhor entendimento quanto aos estudos já realizados nesta área de pesquisa. Os dados literários considerados mais relevantes foram discutidos individualmente.

Tabela 1: Resumo do procedimento executado durante a RSL

1. Questão de Investigação	<p><i>Lean</i> exerce efeito facilitador na implementação da Indústria 4.0?</p> <p>As tecnologias da indústria 4.0 podem apoiar as práticas <i>Lean</i>?</p> <p>Quais as possíveis barreiras ou restrições relacionadas com a integração entre o <i>Lean</i> e a Indústria 4.0?</p>
2. Localização dos artigos	<p><i>Web of Science, Scopus, Taylor & Francis, Science Direct</i></p> <p><i>Review articles, research articles and conference abstracts</i></p>
3. Seleção e avaliação	<p>Período: 2011 - 2018</p> <p>TITLE-ABS-KEY (“indústria 4.0” or “industry 4.0” or “fourth industrial revolution” or “smart factory”) and (“Lean production” or “Lean manufacturing” or “Lean thinking” or “Lean management”)</p> <p>TITLE-ABS-KEY (“indústria 4.0” or “industry 4.0” or “fourth industrial revolution” or “smart factory”) and (“5S” or “one piece flow” or “andon” or “kanban” or “heijunka” or “just in time” or “poka-yoke” or “SMED” or “VSM” or “TPM” or “SPC”)</p> <p>Exclusão:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Não relacionado com ambos Indústria 4.0 e <i>Lean</i>. - Não abordagem de mais de um aspeto da Indústria 4.0. - Não se encontra em Português ou Inglês. - Artigo não se encontra disponível para download (apenas resumo disponível para visualização). <p>Classificação / Exclusão:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diferentes aspetos da indústria 4.0 que são abordados. - Princípios e ferramentas <i>Lean</i> tiveram uma abordagem focada na integração com a Indústria 4.0. - Melhorias a partir da integração dos dois conceitos foram registadas. - Barreiras ou dificuldades relacionadas com a integração entre os diferentes conceitos detectadas. <p>Total selecionado: 26 artigos</p>
4. Análise e síntese	<p>Controle feito através de planilha Excel, onde os dados foram categorizados de acordo com palavra-chave pesquisada, método de investigação do artigo selecionado, país de origem, autor e jornal de publicação.</p>
5. Resultados e interpretação	<p>Interpretação e compreensão acerca da inter-relação entre <i>Lean</i> e a Indústria 4.0 com base nas fontes secundárias pesquisadas, de forma a responder as questões de investigação propostas por este trabalho. Análise individual das fontes consideradas mais relevantes e uso de estatística descritiva de forma a expor os resultados.</p>

3.2.1 Localização dos estudos

As pesquisas bibliográficas foram realizadas através das seguintes bases de dados acadêmicas: *Web of Science*, *Scopus*, *Taylor & Francis* e *Science Direct*. As referidas bases de dados foram utilizadas devido à sua popularidade e à disponibilidade de grande quantidade de material, de forma a obter fontes suficientes para a realização da revisão da literatura.

Todos os artigos (fontes secundárias) identificados e selecionados foram transferidos para o software de gerenciamento *Mendeley* e planilhas de controle no *Excel*. Os mesmos programas foram utilizados como controle, para dessa forma evitar uma possível duplicação de fontes que foram publicadas em mais de uma base de dados pesquisada.

3.2.2 Seleção e avaliação

Foi aplicada restrição temporal do ano de 2011 até 2018. Este período foi considerado pois foi a partir dos finais de 2011 que o termo Indústria 4.0 foi utilizado pela primeira vez (Schwab, 2016).

Os campos de pesquisa para a escolha dos artigos que compõe esse trabalho foram limitados ao resumo, título e palavras-chave, sendo esses quesitos determinantes na seleção da fonte. Os termos de pesquisa resultaram de uma pesquisa preliminar curta de acordo com Fettke, (2006) e Leyh et al., (2017), resultando na seguinte cadeia de pesquisa: Título-Resumo-Palavra chave (“indústria 4.0” ou “*industry 4.0*” ou “*fourth industrial revolution*” ou “*smart factory*”) e (“*Lean production*” ou “*Lean manufacturing*” ou “*Lean thinking*” ou “*Lean management*”). Na etapa seguinte os termos “*Lean*” foram substituídos pelo nome de populares ferramentas, conceitos e técnicas *Lean*, por exemplo: 5S, *one piece flow*, *andon*, *kanban*, *heijunka*, *Just-in-time*, *poka-yoke (error proofing)*, SMED, VSM, TPM, SPC.

As palavras-chave utilizadas para a condução da pesquisa foram suficientemente amplas para não restringir a busca e tiveram como objetivo abordar os diferentes objetivos estabelecidos por esse trabalho. De acordo com a Tabela 2 é possível observar os resultados preliminares das pesquisas envolvendo as diferentes palavras-chave em distintas etapas de busca. Na parte superior pode-se observar o critério de pesquisa de forma a buscar a relação entre o *Lean* e a Indústria 4.0, enquanto que na parte inferior por observar a influência e relação das ferramentas *Lean*.

O critério de exclusão foi escolhido atendendo que se procurou adotar um modelo de referência da Indústria 4.0 ou, ao menos, dos seus conceitos, estrutura de trabalho e abordagem. Portanto,

foram excluídos artigos que tiveram uma abordagem superficial ou parcial da Indústria 4.0. Por fim, apenas artigos em inglês ou português foram considerados para compor este estudo.

Tabela 2: Números de artigos por palavras-chave

Palavras-chave	Números de artigos
TITLE-ABS-KEY (“indústria 4.0” or “industry 4.0” or “fourth industrial revolution” or “smart factory”) and (“Lean production” or “Lean manufacturing” or “Lean thinking” or “Lean management”)	317
TITLE-ABS-KEY (“indústria 4.0” or “industry 4.0” or “fourth industrial revolution” or “smart factory”) and (“5S” or “one piece flow” or “andon” or “kanban” or “heijunka” or “just in time” or “poka-yoke” or “SMED” or “VSM” or “TPM” or “SPC”)	314

3.2.3 Análise e síntese

Para a etapa da análise e síntese dos estudos selecionados, recorreu-se a alguns critérios básicos de forma a responder e alcançar o objetivo proposto por esta dissertação e a responder às perguntas levantadas. Portanto, os artigos a analisar detalhadamente teriam de ter presente os elementos das perguntas, i.e., além da relação *Lean* e I4.0, aspetos abordados nesta, se os princípios e ferramentas *Lean* tiveram abordagem focada na integração da I4.0, se houve melhorias com a integração destes conceitos e dificuldades. Os critérios de classificação estão sistematizados na Tabela 2.

Tabela 3: Critérios de classificação usados para analisar os artigos

1 Diferentes aspetos da I4.0 que são abordados.
2 Princípios e ferramentas <i>Lean</i> que tiveram uma abordagem focada na integração com a indústria 4.0.
3 Melhorias a partir da integração dos dois conceitos foram registadas.
4 Barreiras ou dificuldades relacionadas com a integração entre os diferentes conceitos detectadas.

Adicionalmente, foi realizado o fluxograma da RSL através da metodologia PRISMA (Figura 14), que significa *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses* identificado no trabalho de Moher et al. (2009), donde se pode concluir que de 631 artigos identificados apenas 26 artigos foram alvo de uma análise mais detalhada.

Nesta análise detalhada foi realizado um processo de estatística descritiva dos 26 artigos de forma a analisar as pesquisas dedicadas a estudos de caso e literatura focada em técnicas,

ferramentas e conceitos *Lean*, e a sua utilização no âmbito da Indústria 4.0. Essa análise é apresentada no capítulo seguinte.

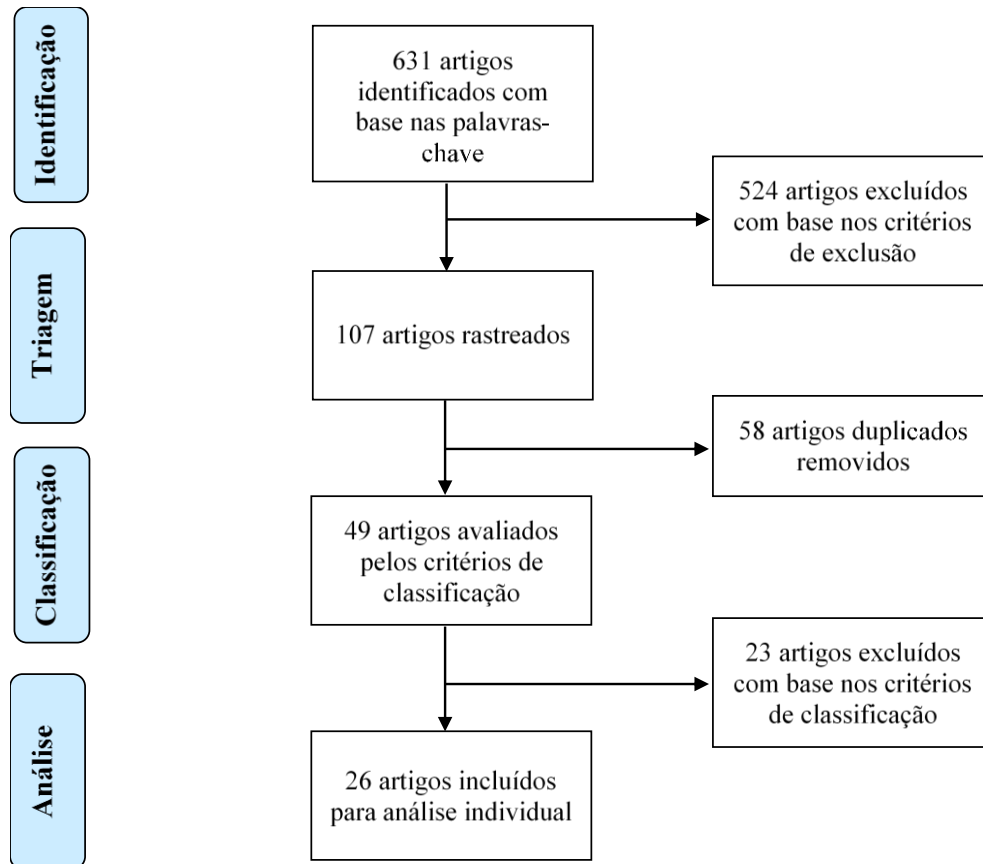


Figura 14: Fluxograma PRISMA da RSL (Fonte: adaptado de Moher et al., 2009)

4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado no capítulo anterior, através da RSL foram selecionados 26 artigos que atendem aos critérios de inclusão e exclusão e, portanto, apresentam uma contribuição para responder às questões de investigação. Assim, este capítulo dá uma visão geral dos artigos incluídos na análise antes de classificá-los de acordo com a estrutura conceitual apresentada no capítulo 3. Os resultados mais importantes são então apresentados de acordo com o esquema de classificação proposto.

4.1 Caracterização dos estudos / artigos selecionados

Todos os artigos foram coletados em uma tabela do *Excel* para que fosse possível realizar uma análise quantitativa, ou seja, determinar número de artigos para cada palavra-chave pesquisada, número de artigos por ano e por região, de forma a ter uma noção de onde o tema possui uma maior popularidade. A tabela presente no Anexo I apresenta os autores dos 26 artigos selecionados e analisados com maior detalhe para dar resposta às questões de investigação.

Uma dessas análises é apresentada na Figura 15, que mostra o número de artigos onde foram discutidas as palavras-chaves. Como é possível avaliar, o termo de pesquisa “*Industry 4.0*” e “*Lean production*” representam o maior número de ocorrências, equivalendo a 73% dos artigos selecionados para compor a parte final deste estudo.

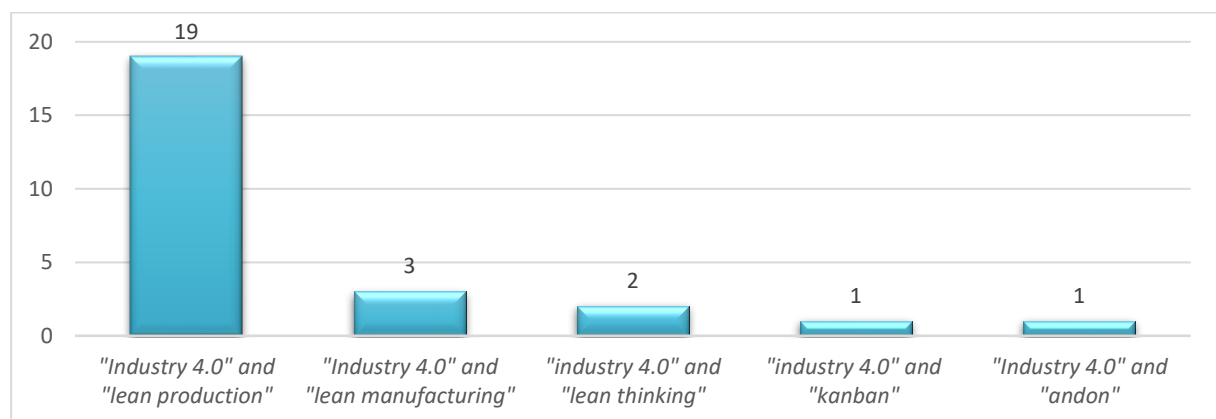


Figura 15: Número de artigos encontrados por palavra-chave pesquisada

As bases de dados *Scopus* e *Science Direct* foram as bases onde se encontraram a maior parte dos artigos, sendo as duas responsáveis por contribuir com 80% do material encontrado (cada um contribuindo com 12 e 9 artigos respectivamente), conforme visto na Figura 16.

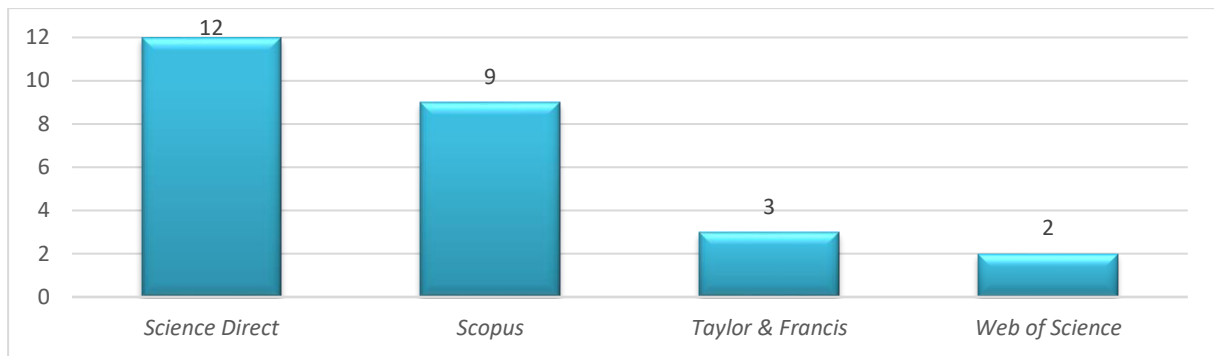


Figura 16: Número de artigos encontrados por base de dados

A maioria dos artigos selecionados foram publicados no *International Journal of Production Research* (6 artigos, representando 23% do total) seguido em igual quantidade pelo *Procedia Manufacturing* (6 artigos, representando 23% do total) e pelo *Procedia CIRP* (4 artigos, representando 15% do total), conforme Figura 17.

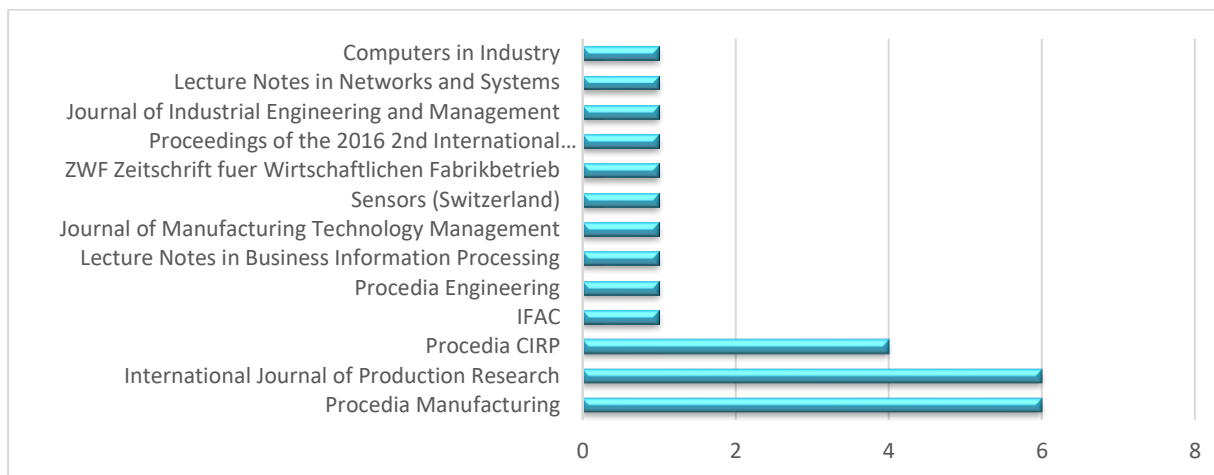


Figura 17: Artigos por fontes de publicação

A Figura 18 apresenta o número de artigos publicados por ano. Fica claro que esta é uma área de pesquisa emergente, com a maioria dos estudos sendo publicados entre 2017 e 2018, com o primeiro artigo publicado em 2015.

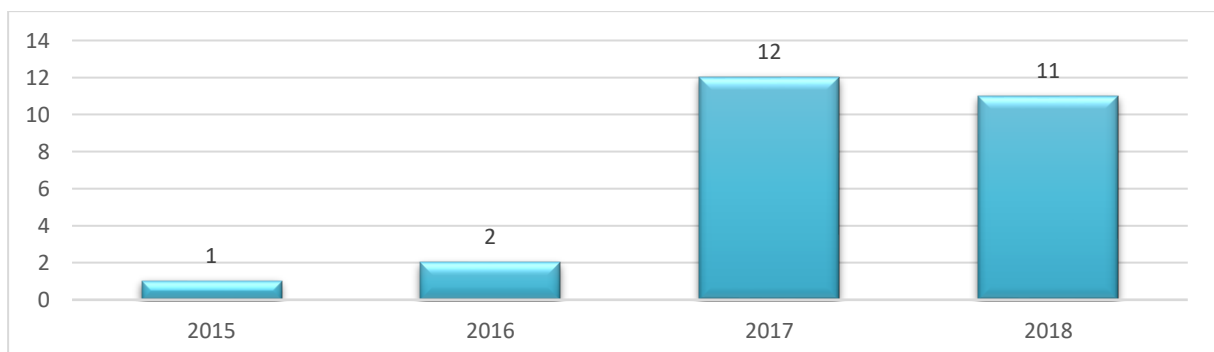


Figura 18: Artigos publicados por ano

Conforme Figura 19, o método de pesquisa por revisão literária representou 81% do total das fontes identificadas (21 artigos), enquanto que os estudos de caso representam 19% das ocorrências com 5 artigos identificados.

Dos 26 artigos da amostra final, a Alemanha é o maior contribuinte, com 15 dos artigos provenientes de universidades ou instituições de pesquisa alemãs, conforme pode ser visto na Figura 20.

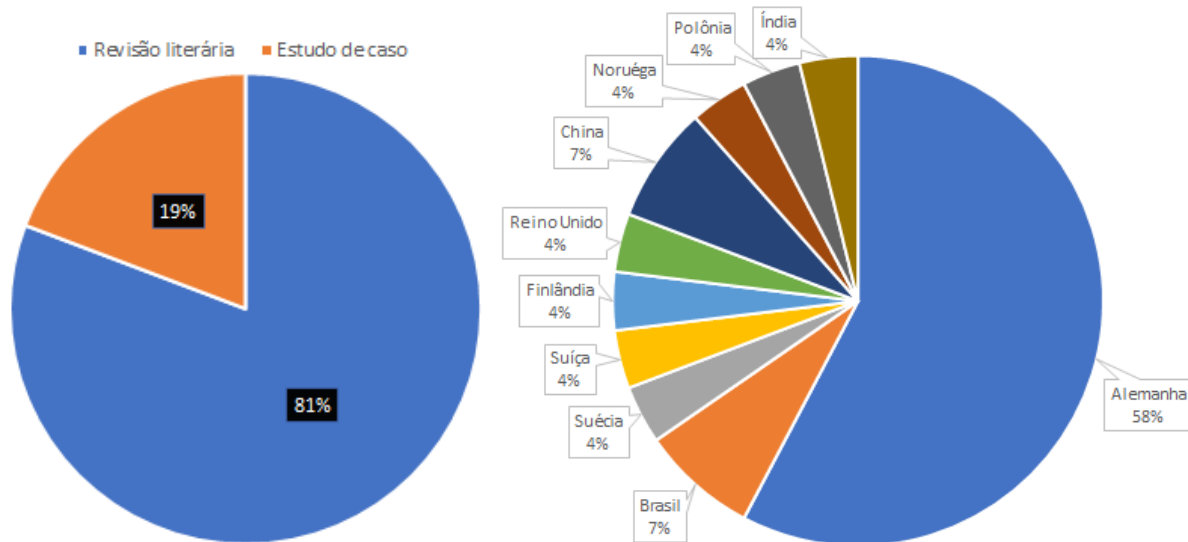


Figura 19: Métodos de pesquisa das fontes utilizados

Figura 20: Países da origem das fontes selecionadas

4.2 Principais resultados e classificação da literatura

Ao utilizar a estrutura conceitual proposta na secção 3.2.3 para categorizar os artigos selecionados para o estudo, foi possível identificar a principal perspectiva teórica do artigo e as áreas investigadas.

Desta análise resultou a sua estruturação em três perspectivas: 1) efeito facilitador do *Lean Thinking* na implementação da Indústria 4.0, 2) as tecnologias da Indústria 4.0 e suas ferramentas são vistas como facilitadores para atingir objetivos de uma empresa *Lean*, 3) barreiras, restrições e dificuldades à integração de LT e I4.0.

A Tabela 4 apresenta uma visão geral da literatura que suporta estas perspectivas. Estas perspectivas são discutidas nas secções seguintes atendendo aos artigos selecionados e às perguntas de investigação realizadas.

Tabela 4: Categorização da literatura com base na estrutura proposta

Perspetiva	Autor
Efeito facilitador do <i>Lean Thinking</i> na implementação da Indústria 4.0	Kolberg & Zühlke (2015) Jayaram (2016) Tortorella & Fetterman (2017) Leyh et al. (2017) Davies et al. (2017) Mrugalska & Wyrwicka (2017) Buer et al.(2018) Prinz et al. (2018) Lugert et al. (2018) Beifert et al. (2018) Uriarte et al. (2018)
I4.0 é visto como facilitador do <i>Lean</i> .	Sanders et al. (2016) Meudt et al. (2017) Wagner et al. (2017) Dombrowski et al. (2017) Hofmann & Rüsç (2017) Hambach et al. (2017) Fettermann et al. (2018) Enke et al. (2018) Wagner et al. (2018) Bauer et al. (2018) Hannola et al. (2018) Mayr et al. (2018)
Barreiras, restrições e dificuldades à integração de LT e I4.0	Ma et al. (2017) Kolberg et al. (2017) Yin et al. (2017)

4.2.1 Efeito facilitador do *Lean Thinking* na implementação da Indústria 4.0

Uma importante perspetiva sobre a interação entre a Indústria 4.0 e o *Lean*, é que o *Lean* pode ser usado como uma base para construir uma implementação da Indústria 4.0, tornando-se assim um facilitador nesta implementação. Nos artigos seleccionados é visível esta interação, mostrando-se isso de seguida assim como os autores discutem a sinergia positiva potenciada por esta interação.

Assim, Kolberg e Zühlke (2015) destacaram no seu trabalho o papel facilitador do *Lean* no processo de implementação da Indústria 4.0. Conceitos *Lean* como a padronização do trabalho, organização e transparência são destacados como suporte para implementação de soluções ligadas à Indústria 4.0. Ao mesmo tempo, através da análise de casos de implementação na

indústria, é destacada a capacidade de melhoria de processos *Lean* a partir da sua integração com a Indústria 4.0.

Através da comparação de tecnologias da Indústria 4.0 com métodos *Lean*, os autores propuseram uma visão geral de possíveis conexões e assim, apresentaram dois casos de duas empresas alemãs: *Würth* e *Wittenstein*. A empresa *Würth*, introduziu um sistema de reabastecimento de pedido com base em cestos *Kanban*. Um sensor detecta a quantidade de itens no cesto e os dados são automaticamente transmitidos para o sistema de controle. Além disso, o novo sistema é capaz de enviar pedidos automaticamente para os fornecedores, fazendo com que o *stock* seja reduzido, ocorra a liberação de espaço no chão de fábrica e os pedidos sejam feitos conforme a necessidade da linha.

Outro caso analisado foi o da empresa *Wittenstein*, onde se encontra em funcionamento um sistema flexível de suprimento da cadeia de produção. Ao invés de intervalos fixos de transporte, um sistema integrado com a produção e AGVs (*automated guided vehicles*) determinam o intervalo de transporte baseado no sistema *milk-run* através da demanda em tempo real. Ainda segundo o estudo, a interação entre funcionários com sistema de transporte se dá através de telas portáteis, reforçando dessa forma um dos princípios da Indústria 4.0 que é a verticalização proporcionada pela interação homem-máquina. Conforme relatado, o sistema apresentou ganhos de 25% a partir da nova implementação.

Em Tortorella e Fettermann (2017) foi analisada a relação entre *Lean* e a Indústria 4.0, e a sua influência a nível de performance operacional nas empresas. Segundo os mesmos autores, a literatura que correlaciona *Lean* e a Indústria 4.0 é escassa e apenas sugere uma associação positiva entre essas abordagens, mas sem testes empíricos. Com base nos dados de 110 companhias avaliadas os resultados dos questionários foram validados através de métodos matemáticos. Foi indicado que empresas com um baixo grau de maturidade quanto ao enquadramento em um sistema de produção *Lean* (menos de 2 anos), apresentaram um baixo grau de interação com a Indústria 4.0.

Ainda segundo os mesmo autores, o grau de maturidade de um sistema produtivo *Lean* está associado a um maior nível de conscientização, o que proporciona uma melhor compreensão de suas práticas e princípios subjacentes, levando os resultados obtidos a conclusão de que o nível de maturidade do sistema *Lean* em uma empresa é uma importante variável em um processo de associação a Indústria 4.0.

Davies et al. (2017) na sua pesquisa apresentam I4.0 e *Lean* como se apoiando mutuamente, onde métodos *Lean* são vistos como facilitadores da Indústria 4.0 e, I4.0 é analisado como um fator que fortalece o *Lean*. A interoperabilidade é tratada a partir do ponto de vista operacional e do ponto sociotécnico. Do ponto de vista operacional é possível observar a integração tanto vertical como horizontal do processo produtivo, a partir da integração de ferramentas e princípios já conhecidos pelo *Lean* e da I4.0. Como exemplo, é possível citar o uso de sistema *Kanban* eletrônico e sistema TPM (*Total Productive Maintenance*) aprimorado devido a conectividade entre máquinas/equipa de manutenção. Um ponto importante abordado pelos autores e que não foi mencionado em outros estudos, é a restrição da troca da informação devido a fatores de segurança e a protocolos de acesso, devido ao fato da partilha contínua da informação ocorrer através da internet em *Cyber-physical systems*.

Em Davies et al. (2017) os fatores sociotécnicos provenientes de uma interação entre *Lean* e a Indústria 4.0 também foram abordados. Compreende-se como sistema sociotécnico aqueles sistemas que envolvem uma interação complexa entre pessoas, máquinas e os aspetos ambientais dos sistemas organizacionais. As complexidades que surgem com o aumento da interação sociotécnica, serão gerenciadas através da mudança na forma como as pessoas em cada nível organizacional interagem.

Ainda segundo esta publicação a relação convencional de um sistema de gestão que predominantemente controla os trabalhadores dará lugar à participação ativa, onde ocorrerá uma transferência mútua de conhecimento entre os níveis de gestão e operacional. As decisões de gestão serão otimizadas com base no conhecimento compartilhado e os trabalhadores, no nível operacional, deixarão de ser agentes passivos que realizam suas tarefas sem qualquer referência. Em vez disso, eles serão elevados ao status de "trabalhador do conhecimento", tendo em vista a verticalização dos processos gerada pelo aumento de interação entre os trabalhadores e o processo.

Mrugalska e Wyrwicka (2017) apoiam a afirmação de que o *Lean* e a Indústria 4.0 podem coexistir e apoiam-se mutuamente, o que é apoiado por outros autores (Uriarte et al., 2018) que inclusive afirmam que barreiras na implementação de ambas podem ser superadas a partir de uma combinação das diferentes abordagens.

Uriarte et al. (2018) sugere que no futuro, o *Lean*, longe de desaparecer, ainda será uma filosofia fundamental para apoiar as empresas a se tornarem mais eficientes. As soluções da Indústria 4.0 apoiarão sua implementação nas empresas, superando até mesmo alguns dos obstáculos existentes atualmente para a implementação do *Lean*. Além disso, segundo os autores, as

mudanças nas tecnologias por si só não ajudarão em nenhum ganho de produtividade, uma mudança organizacional será necessária para apoiar o uso das novas tecnologias incluídas pela Indústria 4.0.

Um investimento para adaptar as competências dos trabalhadores será necessário para abraçar os novos avanços que esta revolução industrial trará, aspecto esse que também foi observado na publicação de Mrugalska e Wyrwicka (2017). Isto está de acordo com o princípio de respeito as pessoas, ponto chave do *Lean*, onde o aspecto humano tem que ser desenvolvido com o objetivo de maximizar o desempenho individual e da equipe (Ohno, 1988).

Buer et al. (2018) mostram como o processo simplificado e livre de desperdícios obtido através de uma transformação *Lean* simplifica os esforços adicionais para automatizar e digitalizar o processo de fabricação, promovendo assim a implementação da I4.0.

Prinz et al. (2018) investigou uma *learning factory* cujo principal objetivo é preparar os trabalhadores para a nova realidade fruto da Indústria 4.0. Nesta *learning factory* diversas operações de uma linha de produção foram simuladas em diferentes etapas e com diferentes requerimentos. Nesta linha também se testavam ferramentas *Lean* associadas a produção *pull* e sistema *milk-run*, em seguida foram feitas simulações de falha que obrigavam os funcionários a encontrar respostas.

Ainda segundo estes autores, os funcionários eram então estimulados a utilizar tecnologias associadas a Indústria 4.0 para solucionar tais problemas e melhorar o sistema atual, usando a digitalização de recursos de forma a obter-se informações em tempo real e assistência, sendo esses considerados elementares no conceito da Indústria 4.0, estando associados ao CPS e IoT. Segundo a publicação, o objetivo do treinamento é deixar claro os benefícios tanto do *Lean* como da Indústria 4.0, porém, para uma implementação bem sucedida de novas tecnologias de digitalização, o processo produtivo tem que estar otimizado e organizado pelos aspectos e princípios *Lean*.

Ainda de acordo com Prinz et al. (2018), a implementação de tecnologias relacionadas a Indústria 4.0 em um sistema produtivo, compromete o aproveitamento otimizado de tais recursos sem antes de mais nada haver um enquadramento da organização com princípios como a padronização de processos e do fluxo produtivo, inerentes ao *Lean*, que irão garantir transparência do processo produtivo e ganho de produtividade.

Estes autores dizem ainda que evidências mostram que empresas que possuem um sistema *Lean* sólido, se beneficiam com a implementação tecnológica da Indústria 4.0 através de um aumento

de performance operacional, que vai de acordo com a curva de produtividade proposta na Figura 21.

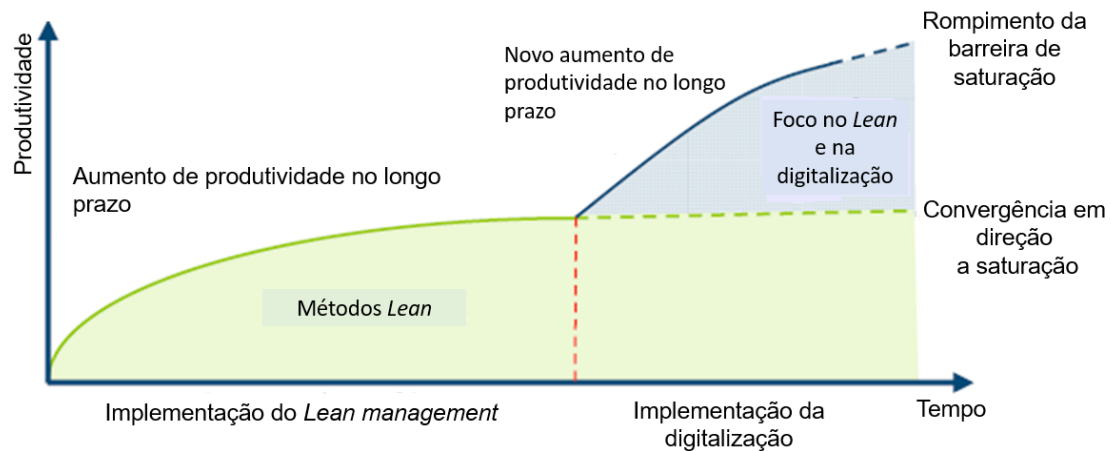


Figura 21: Curva de produtividade entre Lean e I4.0 (Fonte: adaptado de Prinz et al., 2018)

Lugert et al. (2018) investigou a correlação entre *Lean* e a Indústria 4.0, com foco na evolução da ferramenta VSM diante da crescente digitalização no ambiente de manufatura. Após análise de dados fornecida por 170 especialistas em *Lean management* na indústria alemã, chegaram à conclusão de que a Indústria 4.0 e os métodos *Lean* não se contradizem; em vez disso, há um grande potencial a ser obtido da combinação das duas abordagens.

Ainda segundo o autor, a principal desvantagem identificada do VSM é o seu comportamento estático, que a partir da implementação de soluções da Indústria 4.0, pode ser superada. Se os dados em tempo real do sistema de execução de manufatura forem colocados juntos com os dados geográficos recolhidos por um sistema RFID, o fluxo de valor atual pode ser permanentemente exibido e gargalos, bem como melhorias, podem ser continuamente verificados. Dessa forma, o VSM mudaria de uma ferramenta estática para uma dinâmica. Esta ideia é partilhada pelos autores já referidos acima (Meudt et al., 2017; Dombrowski et al., 2017; Enke et al., 2018; Wagner et al., 2018; Lugert et al., 2018).

4.2.2 Indústria 4.0 como facilitador do *Lean Thinking*

Esta seção revê a literatura existente que discute como as tecnologias da Indústria 4.0 podem suportar melhor a jornada *Lean*, tanto na fase de implementação como nos sistemas *Lean* já estabelecidos. Uma análise detalhada dos artigos selecionados para este estudo mostra que diversos autores apoiam a ideia de que a aplicação de modernas tecnologias de informação e comunicação, associadas a Indústria 4.0, em sistemas de produção *Lean* pode melhorar o desempenho dos referidos sistemas, obtendo processos de produção e logística mais eficientes.

Hambach et al. (2017) propõem um modelo de método de melhoria contínua (ciclo PDCA, *Plan-Do-Check-Act*) digitalizado, a partir da integração com soluções da I4.0. Assim, para este autor a melhoria contínua digital pode oferecer potencial e possibilidades para uma melhoria mais eficiente do processo. O modelo proposto não é um método com o qual a ferramenta de melhoria contínua se torna independente da produção real que pretende melhorar. Os processos devem sempre ser inspecionados no local, portanto os princípios de “ir para o *Gemba*” manterão a sua devida importância no futuro. Portanto, o PDCA combinado com elementos da I4.0 destina-se a apoiar os funcionários em seu trabalho, não substituir os funcionários e a sua criatividade na resolução de problemas. Tal aspeto também é abordado por Sanders et al. (2016), que investiga diferentes dimensões do *Lean manufacturing* e como soluções da Indústria 4.0 podem ajudar a superar barreiras no processo de implementação do *Lean*.

Wagner et al. (2017) considera os recursos da I4.0 como estabilizadores dos processos *Lean*. Para apoiar o processo de desenvolvimento presente no conceito da I4.0, estes autores criaram uma matriz de impacto correlacionando as duas abordagens. Tal matriz foi realizada através da avaliação realizada por diversos líderes de projetos de implementação da Indústria 4.0. Esta matriz mostra, assim, o impacto de tecnologias da Indústria 4.0 (ex: *big data*, *augmented reality*) sob princípios *Lean* (ex: *Just in Time*, 5S, *Kaizen*).

Como ponto principal da investigação deste autor, um estudo de caso foi realizado numa empresa do setor automotivo que teve como foco o desenvolvimento de um CPS de forma a suportar o sistema de distribuição *just in time* de componentes, resultando assim em um sistema que faz o balanceamento de *stock* baseado em dados em tempo real. O ponto de partida foi a substituição de cartões *Kanban* por soluções verticais de comunicação entre máquinas.

O conceito envolveu o desenvolvimento de um sistema de fluxo de informação contínuo entre os pedidos da manufatura, entrega, *stock*, consumo de material assim como pedidos de compras automáticas junto ao fornecedor. Como resultado, o fluxo de material foi modificado para um sistema de entrega direta para abastecer as máquinas, dando fim ao acúmulo de *buffer* no chão de fábrica. Este conceito pode ser visto na Figura 22.

O funcionamento se dá através da deteção de toda movimentação de material, ainda no armazém central, através de sensores e em seguida os dados são lançados em uma arquitetura do tipo *big data* ou “nuvem”. A partir do pedido lançado pela produção ocorre a conferência dos componentes que se fazem necessários e um sistema logístico foi implementado com base no *milk-run* de forma a suprir o consumo de material. Como resultado da implementação do CPS associado a entregas *just in time*, foi registrado diminuição do *stock* no chão de fábrica e

também do armazém. Segundo o autor, como benefício registrado pela implementação, é possível observar um aumento da rastreabilidade e confiabilidade do processo.

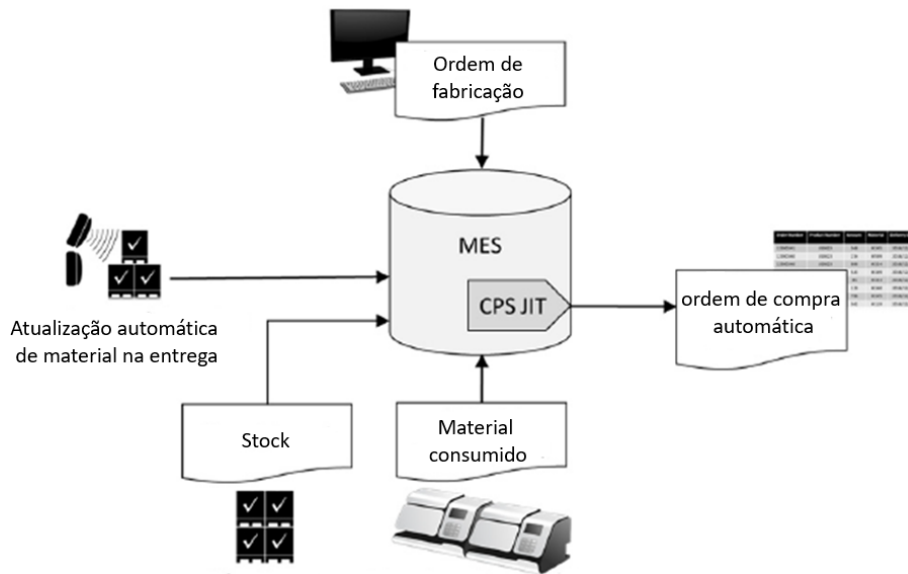


Figura 22: CPS para entrega JIT (Fonte: adaptado de Wagner et al., 2017)

Mayr et al. (2018) investigaram o contributo das soluções da Indústria 4.0 para facilitar a implementação de *Total Productive Maintenance* (TPM) de uma seção de estampagem de metais de uma indústria de componentes elétricos. Como anteriormente não era possível visualizar os dados da máquina, o objetivo era disponibilizar dados transparentes para operadores e técnicos de manutenção no local de trabalho (*Gemba*). Através da implementação de sistemas de monitoramento, dados obtidos a partir de sensores instalados nas máquinas, são enviados e consolidados por uma base de dados do tipo “nuvem” que permite a análise do estado atual a partir de análises estatísticas e do histórico de dados.

Ainda no estudo destes autores, o mapeamento do estado atual e futuro é disponibilizado em dispositivo móveis, permitindo assim a integração homem-máquina. Como todos os dados são armazenados na “nuvem”, as informações podem ser compartilhadas entre diferentes departamentos, fazendo com que peças de reposição solicitadas em tempo ágil, planeamento de atividades de manutenção sejam agendadas de forma dinâmica e ganhos com a transparência da informação gerada. Segundo o autor, os resultados obtidos mostram que ferramentas da I4.0 podem auxiliar o *Lean* a alcançar os seus objetivos.

Uma das ferramentas *Lean* mais abordadas e questionadas quanto ao seu funcionamento no âmbito da Indústria 4.0 é o VSM, com diversos autores apontando que a coleta de dados integrada e em tempo real pode aumentar o potencial do VSM (Meudt et al., 2017; Dombrowski et al., 2017; Enke et al., 2018; Wagner et al., 2018; Lugert et al., 2018). Tal combinação é

nomeada como *Lean* 4.0 (Enke et al., 2018) e VSM 4.0 (Meudt et al., 2017), e segundo os autores, esta combinação pode potencializar a ferramenta mostrando a redução dos desperdícios conhecidos pelos sistemas *Lean*, bem como tornar a leitura do fluxo produtivo mais clara.

Wagner et al. (2018) em sua investigação idealizou um projeto entre a *Bosch* e a universidade TU Braunschweig, onde chegaram à conclusão que a integração da ferramenta VSM com uma arquitetura *Big data* proporcionaria ganhos na transparência da informação. Adicionalmente, os KPI's passariam a ser indicados com precisão, tendo em vista que alguns dados eram reportados e preenchidos manualmente, alocando mão-de-obra apenas para cumprir essa função. O resultado é uma arquitetura integrada com funcionalidades baseadas na aquisição de dados de todas as linhas no processo de produção local.

Autores como Fetterman et al. (2018) analisam a influência da Indústria 4.0 sob o *Lean* como um fator com enorme potencial para gerar novos modelos de negócios, e com grande capacidade de impacto sob fatores operacionais.

Ainda na investigação dos referidos autores, é descrito uma série de casos de implementação de sucesso da Indústria 4.0 em diversas empresas globais como: *Audi*, *Volkswagen*, *ThyssenKrupp* e *Wolfkran*. Nestas foi observado que a implementação de soluções baseados em IoT e CPS, como: AR (*augmented reality*), *Big Data* e RFID, registaram melhorias significativas no sistema JIT, redução do desperdício e aumento da qualidade tendo em vista que algumas tecnologias como AR, por exemplo, além de melhorar as condições ergonômicas dos trabalhadores da linha produtiva, também minimizou a ocorrência de falhas.

4.2.3 Barreiras, restrições e dificuldades à integração de *Lean Thinking* e Indústria 4.0

Alguns autores conceituam os possíveis benefícios de desempenho a partir da integração entre a Indústria 4.0 e o *Lean*. Como mostrado nesta seção, a maioria dos autores entendem que existe uma positiva correlação entre estas diferentes abordagens, porém ressaltam fatores tidos como limitadores. Ma et al. (2017) assim como Kolberg et al. (2017) ressaltam que os métodos *Lean* alcançam seu limite em ambientes complexos de manufatura no contexto da Indústria 4.0, sendo um impedimento à inovação criativa.

Em sua pesquisa, Ma et al. (2017) destaca a combinação de ferramentas *Lean* e os princípios da Indústria 4.0 para desenvolver um sistema *Jidoka* inteligente e descentralizado baseado no CPS, capaz de gerar aumento na flexibilidade do sistema produtivo. Segundo os autores, a maior limitação a tal integração se encontra na ausência de uma arquitetura compreensível que suporte à integração entre o *Jidoka* e CPS. Sob o aspecto da IoT, redes de trabalho e protocolos

são heterogêneos e complexos, fazendo com que a análise de dados e capacidade de decisão de suporte do *Jidoka* sejam limitados. De forma a solucionar tal questão, o autor propôs uma arquitetura baseada em um sistema *Lean* habilitado por tecnologias CPS.

Yin et al. (2017) destacaram a importância da customização em massa como uma vantagem competitiva e que apesar de flexível e eficiente, sistemas *Lean* tem uma capacidade de resposta lenta. Levando isso em consideração, a investigação do autor conclui que as *smart factories* e o ambiente da Indústria 4.0 tem a resposta para a implementação da estratégia da customização em massa.

Os autores usam como exemplo o caso da *Xiaomi*, fabricante chinesa de smartphones, que usa uma plataforma colaborativa de trabalho, com conectividade IoT e IoS, que permite a comunicação de seus clientes entre equipe técnica e fornecedores de *hardware/software* e outros clientes. A empresa incentiva a interação entre seus produtos e clientes através da conexão promovida pela IoT, e com frequência lança produtos com novos *designs* e disponibiliza serviços online com base no *feedback* dos seus consumidores.

4.3 Discussão final

O principal ponto de interesse deste trabalho foi investigar a integração entre o *Lean* e a Indústria 4.0, bem como examinar suas implicações no desempenho produtivo, e possíveis barreiras que possam influenciar essas relações. Concluída a RSL, foi possível desenvolver uma estrutura conceitual que explicasse os principais construtos de forma a responder às questões propostas por esta investigação.

4.3.1 *Lean Thinking* e a Indústria 4.0

É possível observar, a partir da análise do posicionamento dos autores de acordo com as perspectivas propostas, que em muitos casos ocorre uma sobreposição de ideias. A Figura 23 ilustra esta sobreposição: 1) LT vista como facilitador da implementação da I4.0, 2) I4.0 com efeito facilitador do *Lean*, 3) barreiras, restrições e dificuldades na integração entre os diferentes conceitos.

Ao analisar algumas publicações, nomeadamente, Ma et al. (2017); Kolberg et al. (2017); Yin et al. (2017), é possível observar que o *Lean* é tratado como um fator limitador no contexto da Indústria 4.0 embora os autores queiram apenas reforçar a necessidade de incluir neste elementos da I4.0. Assim, é fundamental analisar e interpretar o conceito de *Lean* introduzido pelos autores e da Indústria 4.0 de forma a entender o papel e importância de cada um.

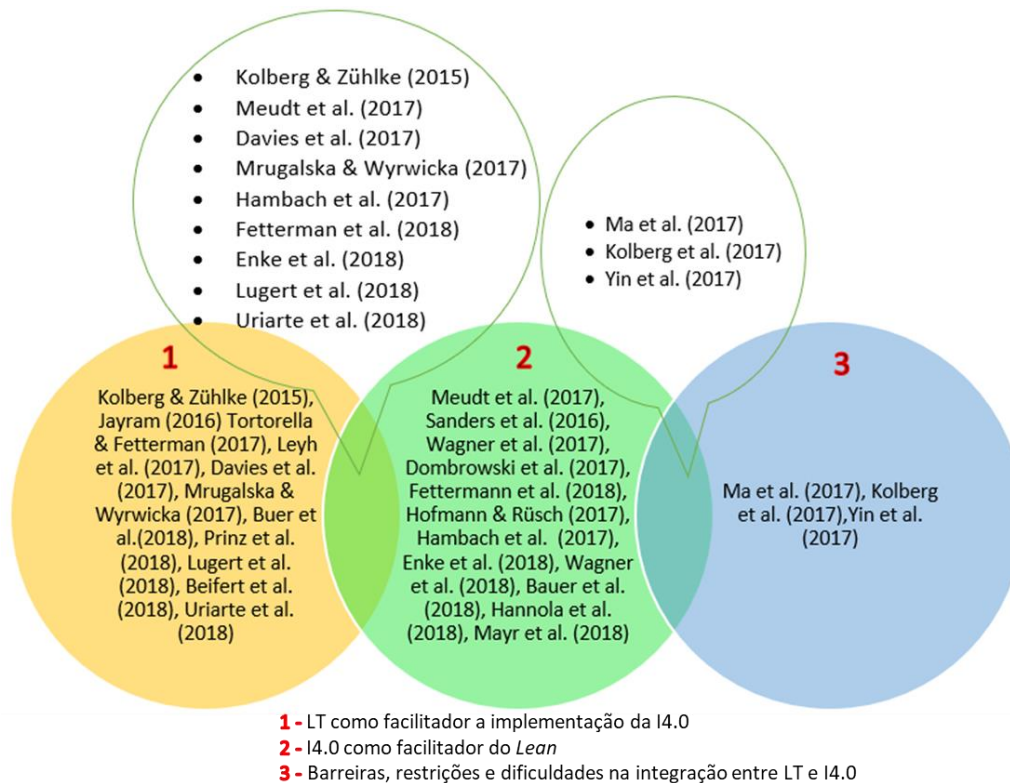


Figura 23: Diagrama de Venn sobre as perspectivas identificadas

O *Lean*, por definição, desafiou com sucesso as práticas de produção em massa, proporcionando uma maior flexibilidade dos sistemas e processos de produção, resultando em produtos e cadeias de suprimentos mais complexos. A Indústria 4.0 visa conectar os mundos físico e virtual na produção industrial e/ou serviços, portanto, é possível observar que não se trata apenas da utilização de sensores e robotização do chão de fábrica. Fica claro então, que o alto investimento necessário para tal aquisição tecnológica, de forma a digitalizar um processo produtivo no contexto da Indústria 4.0, de nada adianta se o processo se encontra fora de controle e cheio de desperdícios.

O resultado segundo Nicoletti (2013), será a reprodução de algum tipo de desperdício pois, a automatização de um processo ineficiente não o torna eficiente, portanto, conceitos *Lean* como a padronização do trabalho, organização e transparência são destacados na literatura (Tortorella & Fettermann, 2017; Leyh et al., 2017; Prinz et al., 2018) como pilares para implementação de soluções ligadas a Indústria 4.0, ou seja, o *Lean* é um importante caminho para consolidação da I4.0.

Assim, pela revisão realizada é possível sistematizar como é que LT é um facilitador da implementação de I4.0. Desta forma, é facilitador porque:

- ✓ Confere uma formação diferenciada às pessoas (forma pensadores);

- ✓ Simplifica os processos e reduz/elimina os desperdícios de forma que os mesmos não sejam automatizados;
- ✓ Reduz a possibilidade de comprometer recursos escassos;
- ✓ Aumenta a transparência dos processos e da organização do trabalho.

Além disso, foi possível verificar que as tecnologias da I4.0 podem ajudar a implementação do *Lean* pois:

- ✓ Emprega tecnologias que facilitam o trabalho das pessoas (ex: plataformas para trabalho colaborativo e comunicação homem-máquina aprimorada);
- ✓ Emprega tecnologias para reduzir o esforço humano;
- ✓ Conecta o mundo real e virtual;
- ✓ Flexibiliza a produção.

Dessa forma, a partir dos modelos propostos e analisados por esta revisão, é possível afirmar que a integração entre os dois conceitos é positiva, com o *Lean* e a I4.0 apoiando-se mutuamente. Ou seja, unindo as práticas da Indústria 4.0 aos conceitos *Lean*, pode-se afirmar que há uma busca mais efetiva pela melhoria.

Adicionalmente, e embora pouco se tivesse dito sobre o assunto nesta dissertação, *Lean Thinking* e a Indústria 4.0 podem ainda ajudar a relação das empresas com o ambiente, nomeadamente, pela implementação de dispositivos nas máquinas que monitorem melhor a energia e a água gasta nos processos produtivos e as emissões poluentes, relação ambiental essa que é possível observar na investigação de Gerlitz (2015).

Assim, a complementaridade destas duas permitirá não só uma melhor economia, mas também um melhor ambiente e aumentar a responsabilidade social das empresas, i.e., os três pilares do desenvolvimento sustentável. Assim, esta combinação pode ajudar as empresas a irem ao encontro das metas de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), em particular, o *Goal 8 - Decent Work and Economic Growth*, *Goal 9 - Industry, Innovation, and Infrastructure* e o *Goal 12 - Responsible Consumption and Production*.

Uma nova realidade, fruto da combinação entre o *Lean* e a Indústria 4.0, permitirá que tais metas sejam alcançadas a partir do devido planeamento da produção, tendo como base sistemas de comunicação e informação em tempo real, o que permitirá a flexibilização das ações das máquinas. Com menos falhas, mais segurança e a automatização dos processos, a produção ocorrerá a partir da demanda, evitando desperdícios e utilizando menos recursos acarretando na redução dos custos de produção.

Com relação ao fator humano (ponto chave do *Lean*), ainda é cedo para afirmar com exatidão qual será o impacto da digitalização proposta pela I4.0, tendo em conta que ainda existem poucos estudos a avaliar o impacto causado pela Indústria 4.0 nesse âmbito e, na sua maioria abordam o tema de forma superficial. Contudo, é possível afirmar que o fator humano sempre será um ponto chave em qualquer processo produtivo. A principal mudança se dará na natureza do trabalho no chão de fábrica, que irá requerer empregados mais bem capacitados e com a exigência de diferentes competências.

4.3.2 Cenário nacional

Com base em dados disponibilizados no estudo mais recente do Instituto Nacional de Estatística, acerca da representatividade das micro, pequena e médias empresas (PME) em Portugal, é possível observar que 99,7% do tecido empresarial português é composto por PME. Iniciativas como o “Programa Indústria 4.0”, proposta do governo português com objetivo de acelerar e facilitar a adoção da Indústria 4.0 pelo tecido industrial nacional, estima um impacto sobre mais de 50.000 empresas a operar em Portugal, visando requalificar e formar competências digitais de forma a preparar os trabalhadores para a nova realidade fruto da 4^o revolução industrial.

No entanto, ainda são muitas as empresas que nem sequer conhecem *Lean*, por exemplo, um inquérito desenvolvido por Silva em 2010 (Silva et al., 2010) mostrava esse desconhecimento. Também em 2017, a propósito da relação *Lean-Green*, Abreu et al. (2017) chegava ao mesmo resultado. Adicionalmente, Maia et al. (2016) em empresas têxteis pode comprovar o mesmo desconhecimento.

Contudo, são as grandes empresas multinacionais a operar em Portugal que conhecem e implementam *Lean* que mais procuram a implementação da I4.0, o que é natural. Estas são empresas *Lean* de referência global e que são pioneiras quanto adoção tecnológica da Indústria 4.0, como a *Bosch*, que atua no cenário nacional por exemplo, já possuem estudos quanto a utilização de tecnologia RFID objetivando alcançar um maior nível de transparência e eficiência na sua cadeia de abastecimento, conforme visto em Costa et al. (2017). Em outro estudo de caso, realizado em parceria com a empresa mencionada anteriormente, é investigado como novas tecnologias podem auxiliar o processo de montagem e o balanceamento da linha de produção, como visto em Pereira et al. (2016).

É possível observar, portanto, que empresas que possuem um maior grau de maturidade *Lean* e maiores recursos disponíveis para investigação, representam o perfil dos principais líderes em investimento em tecnologias ligadas a Indústria 4.0.

Por fim, é importante ressaltar, que apesar de não haverem publicações oriundas de pesquisas nacionais, compondo o quadro de artigos selecionados ao fim da revisão conduzida, nomeadamente, autores como Nunes et al. (2017) e Oliveira et al. (2017) foram identificados ao longo do processo da RSL. Porém, os critérios de classificação escolhidos foram determinantes na exclusão dos referidos autores. A escolha dos critérios de pesquisa (palavra-chave) utilizada, em conjunto com os critérios de classificação podem também ter influenciado a uma não identificação de outros artigos provenientes de investigações nacionais.

5. CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as principais conclusões e algumas sugestões de trabalho futuro para orientar possíveis investigadores que queiram iniciar os seus trabalhos de investigação no âmbito desta temática.

5.1 Conclusões

A principal finalidade deste trabalho foi estudar a relação e a contribuição do *Lean Thinking* no contexto da Indústria 4.0. Apesar da crescente popularidade do tópico Indústria 4.0, ainda é recente e escassa a literatura acerca da sua relação com o popular campo do *Lean Production*. Tendo em vista a importância de analisar tal simbiose, uma revisão sistemática da literatura foi realizada para investigar o papel do *Lean* enquanto agente no âmbito da Indústria 4.0. A revisão foi conduzida para o período de tempo de 2011 a 2018, que resultou, depois de uma filtragem, num total de 26 artigos analisadas, após aplicação dos critérios de exclusão inerentes a RSL. Fica claro que esta é uma área de pesquisa emergente, com a maioria das fontes sendo publicadas entre 2017 e 2018, representando 85% dos estudos avaliados nesta investigação.

Com os resultados apresentados no capítulo 4, foi identificado que o *Lean* é visto como um importante agente na implementação e consolidação da I4.0 sendo que conceitos *Lean* como a padronização do trabalho, organização e transparência são fundamentais no suporte a implementação e consolidação da Indústria 4.0.

É importante destacar que embora a amostra atual de estudos forneça algumas indicações sobre os possíveis impactos no desempenho, os estudos são claramente insuficientes em largura e profundidade, tendo em vista que na maioria das fontes analisadas a interoperabilidade não foi abordada de maneira holística e sim de forma pontual. Entretanto, é possível observar que de acordo com as fontes analisadas, o principal foco de investigação é concentrado em como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser usadas para apoiar as práticas e ferramentas *Lean* existentes, destacando que o aumento de flexibilidade da produção, emprego de tecnologias para reduzir o esforço humano, e o aprimoramento de sistemas de comunicação homem-máquina serão os principais benefícios obtidos.

Foi possível observar também, que fatores tecnológicos representam uma barreira até o presente momento, com a ausência de uma arquitetura padrão a gerar dificuldades no processo de integração entre CPS e ferramentas *Lean*.

Por fim, é necessário frisar que o fator humano deve ser melhor integrado aos modelos existentes, uma vez que os funcionários continuarão sendo uma parte essencial dos processos. Portanto, mais pesquisas são necessárias para buscar compreender o impacto de certos aspectos-chave do *Lean* no âmbito da Indústria 4.0, e que ainda não foram abordados de forma profunda.

5.2 Trabalho futuro

Como trabalho futuro sugere-se a inclusão de novos termos de pesquisa de forma a tornar a gama de resultados o mais vasto possível, integrando assim outras importantes linhas de investigação, nomeadamente o contexto organizacional que poderá afetar o potencial de integração entre os conceitos da Indústria 4.0 e do *Lean*. A revisão da literatura não encontrou estudos que confirmassem nem que negassem essa hipótese, deixando claro que essa é uma lacuna de pesquisa a ser preenchida no futuro.

Além disso, um fator considerado como limitador foi o idioma de pesquisa, que teve como foco os idiomas inglês e português. Através da pesquisa de artigos em outros idiomas, nomeadamente o alemão, seria possível o acesso a investigações com potenciais achados relevantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abosaq, N. H., & Pervez, S. (2016). Internet of Things Services Impact as a Driving Force on Future Technologies by Addressing Missing Dots, 1(April), 31–37.
- Abreu, M.F., Alves, A.C., Moreira, F. (2018). Lean-green synergy awareness: A Portuguese survey. WASTES – Solutions, Treatments and Opportunities II: Selected Papers from the 4th Edition of the International Conference on Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, Porto, Portugal, 25-26 September 2017. Vilarinho, Castro, Lopes (Eds). CRC Press/Taylor & Francis, London, pp. 125-131, ISBN 978-1-138-19669-8.
- Almada-Lobo, F. (2016). Letters from Industry - The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21. <https://doi.org/10.216/81805>
- Alves, A. C, Dinis-Carvalho, J., Sousa, R. M (2012) "Lean production as promoter of thinkers to achieve companies' agility", *The Learning Organization*, Vol. 19 Issue: 3, pp.219-237, <https://doi.org/10.1108/09696471211219930>
- Alves, A. C., Sousa, R. M., Dinis-Carvalho, J., Lima, R. M., Moreira, F., Leão, C. P., Maia, L. C., Mesquita, D., Fernandes, S. (2014). Final year Lean projects: advantages for companies, students and academia. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Project Approaches (PAEE2014)*, Medellin, Colombia, 28-29 July, ID56.1-56.10. <http://hdl.handle.net/1822/30172>
- Ani, M. (2012). The Effectiveness and Impacts of One Piece Flow Manufacturing Technique into Manufacturing Industries. 3a International Conference on Engineering and ICT (ICEI2012)
- Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.008>
- Bauernhansl, T., (2014). *Komplexität bewirtschaften: Die Einführung von Industrie 4.0 in Produktionssysteme*. mav Innovationsforum. Universität Stuttgart.
- Bauernhansl, T., Birgit, Vogel-Heuser, Michael, Ten Hompel. (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Becker, C. & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*. 168. 694-715. 10.1016/j.ejor.2004.07.023.
- Beifert, A., Gerlitz, L., & Prause, G. (2018). Industry 4.0 – For Sustainable Development of Lean Manufacturing Companies in the Shipbuilding Sector Chapter, 36(January), 0–11. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74454-4>
- Blöchl, S.J., Schneider, M., (2016). Simulation Game for Intelligent Production Logistics - The PuLL® Learning Factory. *Procedia CIRP* 54, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.100>
- Brown, A., (2018). The State of the American Manufacturing, *Mechanical Engineering The Magazine of ASME*, issue 5, pp 40-41.
- Buer, S.V., Strandhagen, J.O., Chan, F.T.S. (2018). The link between Industry 4.0 and Lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *Int. J. Prod. Res.* 7543, 1–17. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- Bürger, T., & Tragl, K. (2014). SPS-Automatisierung mit den technologiender IT-Welt verbinden (SPS-automation with technology IT-connection the world). In T. Bauernhansl, M. Hompel, and B. Vogel-Heuser (Eds.), *Industry 4.0 in production, automatization and logistics: Application, technologies, and migration* (pp. 559-569). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Butzer, S., Kemp, D., Steinhilper, R., Schötz, S., (2017). Identification of approaches for remanufacturing 4.0. 2016 IEEE Eur. Technol. Eng. Manag. Summit, E-TEMS 2016. <https://doi.org/10.1109/E-TEMS.2016.7912603>
- Campbell, R., Pound, P., Pope, C., Britten, N., Pill, R., Morgan, M., Donovan, J., (2003). Evaluating meta-ethnography: A synthesis of qualitative research on lay experiences of diabetes and diabetes care. *Soc. Sci. Med.* 56, 671–684. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(02\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(02)00064-3)
- Carvalho, D., (2008), *Human Limitations on Waste Detection: An Experiment*, *Waste Detection Approaches, Business Sustainability*.
- Costa, F., Carvalho, M. do S., Fernandes, J.M., Alves, A.C., Silva, P., (2017). Improving visibility using RFID – the case of a company in the automotive sector. *Procedia Manuf.* 13, 1261–1268. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.048>
- Dais, S. (2014). Industry 4.0—Impetus, vision, proceed. In T. Bauernhansl, M. Hompel, and B. Vogel-Heuser (Eds.), *Industry 4.0 in production, automatization and logistics: Application, technologies, and migration* (pp. 625-634). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Dave, Y. & Sohani, N. (2012). Single Minute Exchange of Dies: Literature Review. *International Journal of Lean Thinking*, 3(2), 27–37.

- Davies, R., Coole, T., Smith, A., (2017). Review of Socio-technical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0. *Procedia Manuf.* 11, 1288–1295. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.256>
- Deloitte, (2015). Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Deloitte 1–30.
- Demeter, K., & Matyusz, Z. (2011). The impact of lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 154–163. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2009.10.031>
- Denyer, D., Tranfield, D. (2009). Producing a systematic review. In D. A. Buchanan & A. Bryman (Eds.), *The Sage handbook of organizational research methods* (pp. 671-689). Thousand Oaks, CA.: Sage Publications Ltd.
- Dombrowski, U., Richter, T., Krenkel, P., (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. *Procedia Manuf.* 11, 1061–1068. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.07.217>
- Drew, J., McCallum, B., Roggenhofer, S., (2004). *Journey to Lean: Making operational change stick*. New York: Palgrave Macmillan.
- Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., Metternich, J., (2018). Industrie 4.0 – Competencies for a modern production system. *Procedia Manuf.* 23, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.028>
- Evans, P. C., & Annunziata, M., (2012). Industrial internet: pushing the boundaries of minds and machines. General Electric, 1–37. Retrieved from http://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf
- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), (2016). *Panorama da Inovação - Indústria 4.0* 20.
- Feld, W., (2000). *Lean Manufacturing*. Boca Raton: CRC Press.
- Feng, P.P. & Ballard, G. (2008). 'Standard Work From a Lean Theory Perspective' In: Tzortzopoulos, P. & Kagioglou, M., 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Manchester, UK, 16-18 Jul 2008. pp 703-712
- Fettermann, D.C., Cavalcante, C.G.S., Almeida, T.D., Tortorella, G.L., (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management? *J. Ind. Prod. Eng.* 35, 255–268. <https://doi.org/10.1080/21681015.2018.1462863>
- Fettke, P., (2006) “State of the Art of the State of the Art: A study of the research method Review” in the information systems discipline,”. *Wirtschaftsinformatik* 48, 257–266. <https://doi.org/10.1007/s11576-006-0057-3>
- Francisco, (2015). Diferenças housekeeping e 5S, conheça as características principais e seja Avaliador Programa 5S. Acessado em Outubro 15, 2018 (às 15:51) de <http://blog.viatreina.com.br/2015/03/20/diferencas-housekeeping-e-5s/>
- Gerlitz, L. (2015). Design For Product And Service Innovation In Insdustry 4.0 And Emerging Smart Society. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 5(2), 181–198. [https://doi.org/10.9770/jssi.2015.5.2\(5\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2015.5.2(5))
- Ghinato, P. (1995). Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time. *Produção*. 5. 169-189. 10.1590/S0103-65131995000200004.
- Gipson, M. (2017). Sensors – The lifeblood of the Internet of Things. Acessado em Outubro 15, 2018 (as 14:11) de <https://semielectronics.com/sensors-lifeblood-internet-things/>
- Hambach, J., Kümmel, K., Metternich, J., (2017). Development of a Digital Continuous Improvement System for Production. *Procedia CIRP* 63, 330–335. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.086>
- Hannola, L., Richter, A., Richter, S., & Stocker, A. (2018). Empowering production workers with digitally facilitated knowledge processes—a conceptual framework. *International Journal of Production Research*, 56(14), 4729–4743. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1445877>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review, (1), 16. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Imai, M. (1997) *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management*. McGraw-Hill Publishing Company.
- Jayaram, A. (2016). Lean six sigma approach for global supply chain management using industry 4.0 and IIoT. *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016*, (January), 89–94. <https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7917940>
- Kagermann, H., W. Wahlster, W., J. Helbig, J. (2013) *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*, München.
- Kiran, D.R., (2017). 5S, in: *Total Quality Management*. Elsevier, pp. 333–346. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811035-5.00023-4>
- Klenk, E., Galka, S., & Günthner, W. A. (2015). Operating strategies for in-plant milk-run systems. *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), 1882–1887. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.361>

- Kolberg, D., Knobloch, J., Zühlke, D., (2017). Towards a Lean automation interface for workstations. *Int. J. Prod. Res.* 55, 2845–2856. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1223384>
- Kolberg, D., Zühlke, D., (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine* 28, 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- Krafcik, J.F. (1988) Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, Vol. 30, 41-52.
- Kumiega, A., & Van Vliet, B. (2008). Kaizen: Continuous Improvement. In *Quality Money Management* (pp. 271–277). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372549-3.00030-6>
- Leyh, C., Martin, S., Schäffer, T., (2017). Industry 4.0 and Lean Production – A Matching Relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models 11, 989–993. <https://doi.org/10.15439/2017F365>
- Liker J., Rother M. (2011) Why Lean Programs Fail. Lean Enterprise Institute.
- Liker K. Jeffrey, (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world’s greatest manufacturer, Action Learning: Research and Practice. <https://doi.org/10.1080/14767330701234002>
- Lugert, A., Batz, A., Winkler, H., (2018). Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *J. Manuf. Technol. Manag.* 29, 886–906. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/MRR-09-2015-0216>
- Ma, J., Wang, Q., Zhao, Z., (2017). SLAE–CPS: Smart Lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies. *Sensors (Switzerland)* 17. <https://doi.org/10.3390/s17071500>
- Maia, L.C., Alves, A.C. Leão, C. L. (2016). Lean Production awareness and implementation in Portuguese Textile and Clothing companies. In *The REGIONAL Helix 2016: International Conference on Triple Helix Dynamics Topic: 9. Industry-Academia Interactions and Sustainability*, 19pp., 29 June to 1 July 2016, Castelo Branco, Portugal.
- Mallett, S., Clarke, M., (2003). How many Cochran reviews are needed to cover existing evidence on the effects of health care interventions? *ACP J. Club* A11-12.
- Markarian, J. (2004). What is Six Sigma? *Reinforced Plastics*, 48(7), 46–49. [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(04\)00377-7](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(04)00377-7)
- Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., Franke, J., (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of Lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP* 72, 622–628. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.292>
- McCarthy, D., & Rich, N. (2015). The Lean TPM Master Plan. *Lean TPM*, 27–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100090-8.00002-1>
- Meissner, A., Müller, M., Hermann, A., Metternich, J., (2018). Digitalization as a catalyst for Lean production: A learning factory approach for digital shop floor management. *Procedia Manuf.* 23, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.165>
- Meudt, T., Metternich, J., Abele, E., (2017). Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 66, 413–416. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.005>
- Mittal, S., Khan, M. A., & Wuest, T. (2017). Smart manufacturing: Characteristics and technologies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 492, 539–548. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54660-5_48
- Monden Y. (2012) *Toyota Production System*. Boca Raton: CRC Press.
- Moore, R., (2006). Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools, in: Butterworth-Heinemann (Ed.), *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools*. p. 416.
- Mrugalska, B., Wyrwicka, M.K., (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Eng.* 182, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135>
- Mulrow, C.D., (1994). Rationale for systematic reviews. *Br. Med. J.* 309, 597–599. <https://doi.org/10.1136/bmj.309.6954.597>
- Nelson, J., (2016). Copyright, in: *Becoming a Lean Library*. Elsevier, p. iv. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-779-8.12001-4>
- Nicoletti, B. (2013). “Lean and Automate Manufacturing and Logistics.” In *Advances in Production Management Systems*, APMS 2013, 278–285. State College, PA: Springer.
- Norton, A., & Fearn, A. (2009). Sustainable value stream mapping in the food industry. In *Handbook of Waste Management and Co-Product Recovery in Food Processing* (pp. 3–22). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845697051.1.3>
- Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 13, 1215–1222. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035>
- Ohno, T. (1988) *Toyota production system: Beyond large-scale production*, Cambridge, Mass., Productivity Press.
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through “Lean Tools”: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>

- Ortiz, C. A. (2006). *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*. New York: CRC Press.
- Pereira, A., Abreu, M. F., Silva, D., Alves, A. C., Oliveira, J. A., Lopes, I., & Figueiredo, M. C. (2016). Reconfigurable Standardized Work in a Lean Company - A Case Study. *Procedia CIRP*, 52, 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.019>
- Pieńkowski, M. (2014). Waste Measurement Techniques for Lean Companies. *International Journal of Lean Thinking* Volume 5, Issue 1.
- Plenert, G., (2007). Chapter 6 – What is Lean?, in: *Reinventing Lean*. pp. 145–162. <https://doi.org/10.1016/B978-012370517-4/50008-3>
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., Kuhlenkötter, B., (2018). Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manuf.* 23, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.155>
- Productivity Press Development Team, *Just In Time for Operators*, (1998), Portland, Productivity Press.
- Raji, R. S. (1994). Smart Networks for control, (vol.31, n° 6, pp.49–55): IEEE Spectrum.
- Rodrigues, M. V. (2014). 3 – Desenvolvendo Lean Manufacturing. In *Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo Sistemas De Produção Lean Manufacturing* (pp. 65–146). Elsevier Editora Ltda. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978853526117200003X>
- Rother, M., Shook, J. (2003) *Learning to See*. Lean Enterprise Institute (LEI), Cambridge Center, Cambridge.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J., (2016). Industry 4.0 implies Lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for Lean manufacturing. *J. Ind. Eng. Manag.* 9, 811–833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Satyavolu, P., Setlur, B., Thomas, P., Iyer, G., (2015). Designing for Manufacturing’s “Internet of Things.” *Technol. Solut. Cogniz.* 4–14.
- Scheer, A.-W., (2013). *Industrie 4.0: Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus*.
- Schlick, J., P. Stephan, M. Loskyll, and D. Lappe, (2014). *Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung*. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds., (2014). *Industrie 4. 0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration*, 57–84.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. (1st ed.). New York: Crown Business.
- Sendler, U. (2013). *Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM (Systems Lifecycle Management)*. In: Ders (Hrsg.): *Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Springer Vieweg. Heidelberg u. A., 1-19
- Shingo, S., (1985). “A revolution in manufacturing, the SMED system”, Productivity Press
- Silva, C., Tantardini, M., Staudacher, A. P., & Salviano, K., (2010). Lean Production Implementation : A survey in Portugal and a comparison of results with Italian , UK and USA companies. In *Proceedings of 17th International Annual EurOMA Conference -Managing Operations in Service Economics*, (Eds.) R. Sousa, C. Portela, S. S. Pinto, H. Correia, Universidade Católica Portuguesa, 6-9 June, Porto, Portugal (pp. 1–10)
- Spear, S., (2004). Learning to lead at Toyota. *Harvard Business Review*, 82, 78–87.
- Storhagen, N. G., (1993). *Management and flow efficiency in Japan and Sweden*; Linköping: Linköping University.
- Sundar, R., Balaji, A.N., Satheesh Kumar, R.M., (2014). A review on Lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Eng.* 97, 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Thomé, A.M.T., Scavarda, L.F., Scavarda, A.J., (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Prod. Plan. Control* 27, 408–420. <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>
- Thomopoulos, N., (2016). *Elements of Manufacturing, Distribution and Logistics*. Heidelberg: Springer;
- Tortorella, G.L., Fettermann, D., (2017). Implementation of Industry 4.0 and Lean production in Brazilian manufacturing companies. *Int. J. Prod. Res.* 7543, 1–13. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Tsigkas, A., (2012). *The Lean Enterprise. From the Mass Economy to the Economy of One*. Heidelberg: Springer.
- Ulutas, B., (2011). An application of SMED Methodology. *World Academy of Science, Engineering & Technology*, 5(7), 100–103.
- Uriarte, A.G., Ng, A.H., Moris, M.U., (2018). Supporting the Lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. *Procedia Manuf.* 25, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.097>
- Wagner, T., Herrmann, C., Thiede, S., (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP* 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- Wagner, T., Herrmann, C., Thiede, S., (2018). Identifying target oriented Industrie 4.0 potentials in Lean automotive electronics value streams. *Procedia CIRP* 72, 1003–1008. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.003>
- Wilson, L., (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*, Mc-Graw Hill, New York, NY.
- Womack, J. P. and Jones, D. T., (1996). *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your company*. New York, Free Press.

- Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D., (1990). *The machine that changed the world: The story of Lean production - Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry*, New York, Free Press.
- Yamamoto, Y., Bellgran, M., (2010). "Fundamental mindset that drives improvements towards lean production", *Assembly Automation*, Vol. 30 Issue: 2, pp.124-130, <https://doi.org/10.1108/01445151011029754>
- Yin, Y., Stecke, K.E., Li, D., (2017). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *Int. J. Prod. Res.* 56, 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>

ANEXO I – ARTIGOS ANALISADOS

Autor	Ano	Título da publicação	Diferentes aspetos da I4.0 que são abordados.	Princípios e ferramentas <i>Lean</i> que tiveram uma abordagem focada na integração com a indústria 4.0.	Melhorias a partir da integração dos dois conceitos foram registadas.	Barreiras ou dificuldades relacionadas com a integração entre os diferentes conceitos detectadas.
Dombrowski et al.	2017	Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - a use case analysis	1	1	1	-
Enke et al.	2018	Industrie 4.0 - Competencies for a modern production system: A curriculum for Learning	1	1	1	-
Prinz et al.	2018	Lean meets Industrie 4.0 - a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world	1	1	1	-
Wagner et al.	2017	Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems	1	1	1	-
Mayr et al.	2018	Lean 4.0-A conceptual conjunction of Lean management and Industry 4.0	1	1	1	-
Wagner et al.	2018	Identifying target oriented Industrie 4.0 potentials in Lean automotive electronics value streams	1	1	1	-
Kolberg & Zühlke	2015	Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies	1	1	1	-
Davies et al.	2017	Review of Socio-technical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0	1	1	1	1

Mrugalska & Wyrwicka	2017	Towards Lean Production in Industry 4.0	1	1	1	-
Bauer et al.	2018	Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing Learning Factories	1	1	1	-
Buer et al.	2018	The link between Industry 4.0 and Lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda	1	1	1	1
Leyh et al.	2018	Analyzing industry 4.0 models with focus on Lean production aspects	1	1	1	-
Lugert et al.	2018	Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries	1	1	1	1
Tortorella & Fettermann	2017	Implementation of Industry 4.0 and Lean production in Brazilian manufacturing companies	1	1	1	1
Ma et al.	2017	SLAE–CPS: Smart Lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies	1	1	1	1
Kolberg et al.	2017	Towards a Lean automation interface for workstations	1	1	1	1
Meudt et al.	2017	Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production	1	1	1	-
Jayaram	2016	Lean six sigma approach for global supply chain management using industry 4.0 and IIoT	1	1	1	-
Sanders et al.	2016	Industry 4.0 implies Lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for Lean manufacturing	1	1	1	-

Yin et al.	2017	The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0	1	1	1	-
Hannola et al.	2018	Empowering production workers with digitally facilitated knowledge processes a conceptual framework	1	1	1	-
Fettermann et al.	2018	How does Industry 4.0 contribute to operations management?	1	1	1	-
Beifert et al.	2018	Industry 4.0-For Sustainable Development of Lean Manufacturing Companies in the Shipbuilding Sector	1	1	1	1
Hofmann & Rüsçh	2017	Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics	1	1	1	-
Uriarte et al.	2018	Supporting the Lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0	-	1	1	1
Hambach et al.	2017	Development of a digital continuous improvement system for production	1	1	1	-