



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO DE MODELO DE
MATURIDADE PARA AVALIAÇÃO DE
INDÚSTRIAS BRASILEIRAS EM INDÚSTRIA 4.0**

Por,

João Pedro Vianna Ribeiro

Brasília, julho de 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FICHA CATALOGRÁFICA

Vianna Ribeiro, João Pedro

Proposta de Adaptação de Modelo de Maturidade para Avaliação de Indústrias Brasileiras em Indústria 4.0. / João Pedro Vianna Ribeiro; orientador: Andrea Cristina dos Santos; co-orientador: Fábio Pires - Brasília, 2018.

Projeto de Graduação (Engenharia de Produção) - Universidade de Brasília, 2018.

Palavras-Chave: Indústria 4.0, modelo de maturidade, manufatura enxuta, tecnologias habilitadoras

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, J. P. V., (2018). Proposta de Adaptação de Modelo de Maturidade para Avaliação de Indústrias Brasileiras em Indústria 4.0. Projeto de Graduação em Engenharia de Produção. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 83p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: João Pedro Vianna Ribeiro.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO; Proposta de Adaptação de Modelo de Maturidade para Avaliação de Indústrias Brasileiras em Indústria 4.0.

GRAU: Engenheiro ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida nem modificada sem autorização por escrito do autor.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO DE MODELO DE MATURIDADE PARA
AVALIAÇÃO DE INDÚSTRIAS BRASILEIRAS EM INDÚSTRIA 4.0**

POR,

João Pedro Vianna Ribeiro

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de
Produção

Banca Examinadora

Prof. Andrea Cristina dos Santos (EPR/UnB) _____

Prof. Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic (EPR/UnB) _____

Prof. Edgard Costa de Oliveira (EPR/UnB) _____

Brasília, 5 de julho de 2018

Dedicatória

*À minha família, Paulo, Maria Cristina e Maria Clara, que me apoiou
durante todo o período de graduação.*

*À Tairine, que me inspirou na forma de conduzir meus estudos.
Aos meus orientadores, Andrea e Fábio, que abriram meus olhos
para a quarta revolução industrial.*

AGRADECIMENTO

Como um gesto da minha fé Católica, agradeço, primeiramente, à Deus por essa conquista. Ademais, gostaria de estender meus agradecimentos à todas as pessoas que fizeram parte desta etapa tão importante na minha vida.

Agradeço à minha orientadora Profa. Andrea, pelo apoio na condução dos meus estudos e pelo olhar crítico que me fez pensar fora da caixa para conduzir este projeto. Ao meu co-orientador, Fábio, que me introduziu o tema da Indústria 4.0 e me inspirou com seu tamanho conhecimento e foco em alcançar resultados de alto impacto para a indústria brasileira.

Às empresas que abriram as portas para que eu realizasse meu projeto e que, de maneira muito prestativa, me ajudaram a coletar todas as informações necessárias para a conclusão desta pesquisa.

À minha família e à Tairine, que me motivaram a correr atrás dos meus sonhos e alcançar resultados cada vez melhores e me inspiraram a ser uma pessoa melhor.

Aos meus amigos que me incentivaram e me divertiram durante toda a minha graduação, tornando mais leve a minha caminhada rumo à esta conquista acadêmica.

Por fim, a todo o corpo docente do departamento de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília e dos departamentos de Engenharia Industrial e de Gestão de Operações da Universidade do Alabama. Em especial aos Professores João Mello da Silva e Bill Petty, por serem profissionais tão fantásticos e revolucionários.

Muitíssimo obrigado,

João Pedro Vianna Ribeiro

RESUMO

A Indústria 4.0 se apresenta como alternativa para que o setor industrial brasileiro aumente seus resultados de produtividade. A presente pesquisa tem por objetivo compreender a situação das empresas brasileiras em relação à manufatura avançada. Para tanto a presente pesquisa apresenta o emprego de um modelo de maturidade adaptado da literatura em dois estudos de casos em empresas, e propõe ações para evolução das empresas analisadas no contexto da Indústria 4.0. A aplicação do modelo de maturidade nas duas unidades de análise da pesquisa expôs grandes diferenças entre as unidades de análise tanto na organização dos processos produtivos quanto na utilização de tecnologias em suas linhas produtivas. A condução dos estudos de casos nas empresas mostrou que o modelo de maturidade adaptado da literatura pode auxiliar no planejamento para a transformação digital de empresas.

Palavras Chave: Indústria 4.0, modelo de maturidade, manufatura enxuta, tecnologias avançadas

ABSTRACT

Industry 4.0 is an alternative for the Brazilian industrial sector to improve its productivity results. This research aims to understand the reality of the Brazilian companies on the advanced manufacturing scenario. To do so, the present research presents the use of the maturity model adapted from the literature review in two study cases at Brazilian companies. Then, the main objective of this research is propose actions for the continuous growth of those companies analyzed considering the Industry 4.0 context. The application of the maturity model in the study cases display great differences between the units of analysis. The major issues were identified on the organization of the shop floor as well as on the lack of use of technologies on its production lines. The conduction of the case studies in the companies showed that the maturity model adapted from the literature could help enterprises on strategic planning for their digital transformation processes.

Key words: Industry 4.0, maturity model, Lean Manufacturing, advanced technologies

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.2	METODOLOGIA DE PESQUISA	13
1.2.1	Definição do modelo conceitual	15
1.2.2	Planejamento dos casos	16
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	17
2	CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	INDÚSTRIA 4.0	19
2.1.1	Sistemas Cyber-Físicos (CPS – <i>Cyber-Physical Systems</i>)	21
2.1.2	Internet das Coisas (IoT – <i>Internet of Things</i>)	23
2.1.3	<i>Big Data</i>	23
2.1.4	Gestão na Indústria 4.0	25
2.2	PRODUTIVIDADE E ABORDAGENS LEAN	26
2.3	CONNECTIVIDADE	29
2.4	NÍVEIS DE MATURIDADE	31
2.5	CENÁRIO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA	36
2.5.1	Abordagem empregada pelo SENAI (2018)	36
3	CAPÍTULO 3: ADAPTAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE	39
4	CAPÍTULO 4: ESTUDO DE CASO	47
4.1	PLANEJAMENTO DO ESTUDO DE CASO	47
4.2	CONDUÇÃO DO ESTUDO DE CASO	47
4.2.1	Avaliação de Maturidade Industrial	44
4.3	ESTUDO DE CASO DA MÁQUINAS S.A.	48
4.3.1	Pessoas	51
4.3.2	Processo de manufatura	52
4.3.3	Produtos	53
4.3.4	Tecnologias habilitadoras	53
4.3.5	Modelo de negócio	53
4.4	ESTUDO DE CASO DA EMBALAGENS LTDA	54
4.4.1	Pessoas	57
4.4.2	Processo de manufatura	58
4.4.3	Produtos	59

4.4.4	Tecnologias habilitadoras	59
4.4.5	Modelo de negócio	60
5	CAPÍTULO 5: DISCUSSÕES	61
5.1	SOBRE A MÁQUINAS S.A.....	61
5.1.1	Sobre o setor metal mecânico.....	61
5.1.2	Sobre a manufatura enxuta	62
5.1.3	Sobre os sistemas de gestão e tecnologias de auxílio à manufatura	62
5.1.4	Sobre as soluções em manufatura avançada propostas para a Máquinas S.A. 63	
5.2	SOBRE A EMBALAGENS LTDA	64
5.2.1	Sobre o processo de manufatura.....	64
5.2.2	Sobre as soluções em manufatura avançada propostas para a Embalagens LTDA 65	
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	Error! Bookmark not defined.
5.4	Sobre trabalhos futuros	67
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
7	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE MATURIDADE INDUSTRIAL: MÁQUINAS S.A.73	
8	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE MATURIDADE INDUSTRIAL: EMBALAGENS LTDA	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Condução do estudo de caso	15
Figura 2 - Modelo Conceitual	15
Figura 3: Arquitetura 5C.	22
Figura 4 - Nível tático da Indústria 4.0 Fonte: Adaptado de Capgemini (2014).	26
Figura 5 - Integração de um sistema MES	31
Figura 6 - Níveis de maturidade da Indústria 4.0	32
Figura 7 - Metodologia <i>Lean</i> + Digitalização e Conectividade	38
Figura 8 - Modelo de maturidade para a Indústria 4.0	40
Figura 9 - Atributos do modelo de maturidade para a Indústria 4.0	42
Figura 10 - Mapeamento do fluxo de valor (MFV) da Máquinas S.A.	49
Figura 11 - Avaliação de maturidade da Máquinas S.A.	51
Figura 12- Mapeamento do fluxo de valor (MFV) da Embalagens LTDA	55
Figura 13- Avaliação de maturidade da Embalagens LTDA	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - aplicabilidade das estratégias de pesquisa.....	14
Quadro 2 - Desafios do <i>Big Data</i>	24
Quadro 3: Dimensões de maturidade 4.0	34
Quadro 4: Dimensões da Indústria 4.0.....	35

LISTA DE SIGLAS

Siglas

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABII	Associação Brasileira de Internet Industrial
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CNI	Confederação Nacional da Indústria
EMBRAPII	Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
IOT	<i>Internet of Things</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UNB	Universidade de Brasília
WER	<i>World Economic Report</i>

1 CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

As revoluções industriais trazem consigo grandes avanços de produtividade para as indústrias (SCHUH et al, 2013). A nova conjuntura tecnológica da indústria envolve conceitos de sistemas cyber-físicos (CPS), internet das coisas (IoT), fábricas e produtos inteligentes, Big Data e tecnologias habilitadoras como comunicação via wireless, nuvens de redes digitais e tecnologias máquina-à-máquina (M2M) de modo a viabilizar grandes avanços de eficiência produtiva (KAGERMANN et al, 2013; CAPGEMINI, 2014). O potencial sucesso da implementação de tecnologias da Indústria 4.0 tem chamado atenção de diversos países para o desenvolvimento de suas políticas industriais, conforme o estudo do *World Economic Report* (WER, 2013). Todavia, é necessário que uma empresa tenha elevada maturidade de modo a implementar as novas tecnologias de maneira eficiente, devido ao aumento da complexidade dos processos produtivos (KAGERMANN et al, 2013).

Para tanto, Schumacher et al (2016) e Schuh et al (2017) apresentam métodos de avaliação de maturidade industrial. Schuh et al (2017) apresentam um caminho para empresas alcançarem a revolução da Indústria 4.0. Os autores sugerem o emprego de modelos de maturidade para auxiliar as empresas a adquirir suas competências digitais.

Os índices de produtividade da indústria brasileira de maneira geral são baixos (CNI, 2015), o país não se mostra preparado para introduzir essas tecnologias avançadas em seu parque industrial. Os baixos índices de produtividade (CNI, 2015) apontam para desorganização do processo produtivo na indústria do Brasil, sendo este um requisito básico para aplicação dos conceitos desta quarta revolução industrial, conseqüentemente, evolução em maturidade da quarta revolução industrial (CIRERA e MALONEY, 2017). Essa problemática com a produção industrial, adicionada a baixa qualificação do trabalho nas fábricas, tem prejudicado a competitividade do país em âmbito global (WER, 2013; CNI, 2016).

A partir desta problemática, a co-orientação desta pesquisa fez uma proposta para avaliação de maturidade de empresas brasileiras para entender como estas empresas estão frente ao cenário da quarta revolução industrial. Para tanto, pretende-se propor uma adaptação de modelos de maturidade para mapear a situação destas

empresas e nortear o planejamento de ações para que essa empresa evolua frente a acelerada transformação digital.

Portanto, a presente pesquisa foi motivada por uma iniciativa do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) em introduzir conceitos de Indústria 4.0 em indústrias brasileiras. A parceria com o SENAI para esta pesquisa se dá num contexto de estágio e os conceitos abordados para a realização da avaliação de maturidade de empresas industriais no Brasil foi auxiliada por estudos propostos por essa parceria.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

Propor uma adaptação de modelos de maturidade para mapear a situação das empresas brasileiras em relação à Indústria 4.0.

Objetivos específicos

- Identificar os principais elementos, conceitos e abordagens sobre a Indústria 4.0;
- Compreender como estes conceitos se relacionam com os conceitos de manufatura enxuta e produtividade;
- Avaliar a aplicabilidade de tecnologias avançadas em fábricas brasileiras;

1.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para que uma pesquisa seja conduzida com um embasamento científico adequado de modo a gerar resultados robustos e coerentes com seus objetivos é necessário que haja uma metodologia formando a base da pesquisa (CAUCHICK, 2007).

É preciso avaliar as diferentes estratégias de pesquisa para definir qual se aplica ao objetivo da pesquisa em questão. Cada estratégia de pesquisa apresenta uma lógica diferente de se coletar e analisar inferências e dados em uma pesquisa, tendo suas vantagens e desvantagens, todavia todas elas têm caráter exploratório, descritivo ou explanatório (YIN, 2001).

Segundo Yin (2001), existem três condições para se escolher o tipo de pesquisa: o tipo de questão de pesquisa proposta, a extensão do controle que o investigador tem sobre os eventos comportamentais reais e o grau de enfoque sobre eventos contemporâneos em oposição aos eventos históricos. O Quadro 1 apresenta essas

condições para se avaliar a melhor aplicabilidade de cada uma das estratégias de pesquisa.

Quadro 1 - Aplicabilidade das estratégias de pesquisa

Estratégia	Forma da questão de pesquisa	Exige controle sobre eventos comportamentais?	Focaliza acontecimentos contemporâneos?
Experimento	Como, por que	Sim	Sim
Levantamento	Quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim
Análise de arquivos	Quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim/não
Pesquisa histórica	Como, por que	Não	Não
Estudo de caso	Como, por que	Não	Sim

Fonte: Adaptado de Yin (2001)

Em complemento, Cauchick (2007) aponta que algumas abordagens de pesquisa são mais comuns em pesquisas na área de engenharia de produção: desenvolvimento teórico-conceitual, estudo de caso, levantamentos tipo *survey*, modelamento e simulação, pesquisa-ação, pesquisa bibliográfica e pesquisas exploratórias. O estudo de caso foi a abordagem selecionada para conduzir a presente pesquisa. O estudo de caso se dá pela análise aprofundada de um ou mais casos, com uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados (CAUCHICK, 2007) e a Figura 1 apresenta a lógica sistemática do método a ser utilizado.

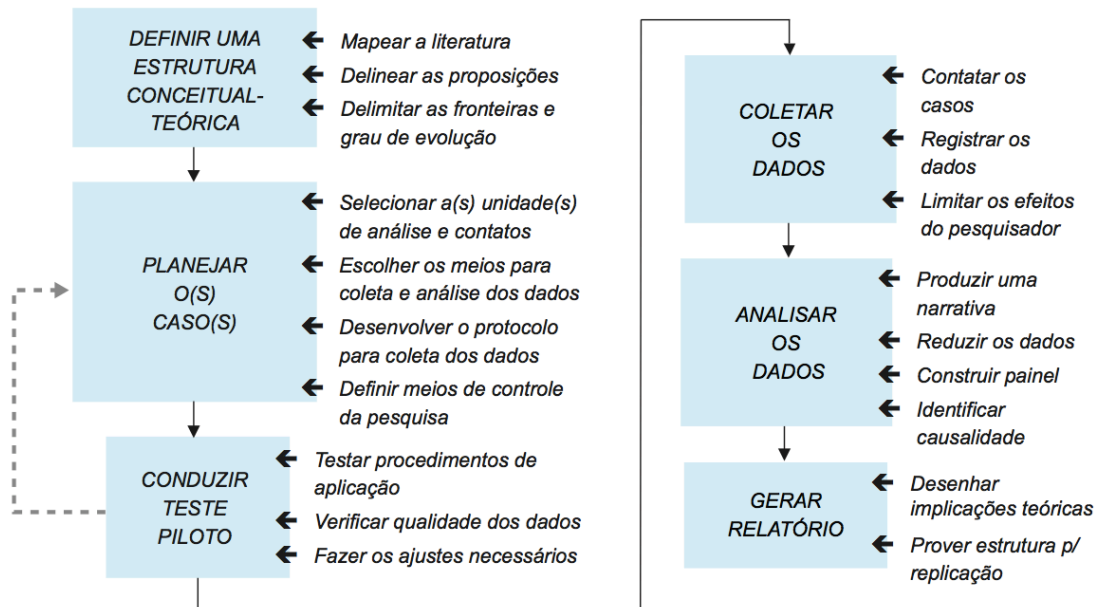


Figura 1 - Condução do estudo de caso Fonte: Cauchick (2007)

1.2.1 Definição do modelo conceitual

No que compreende a primeira etapa do estudo de caso, foi elaborado um modelo conceitual para conduzir o referencial teórico apresentado no Capítulo 2. O modelo conceitual está representado na Figura 2.

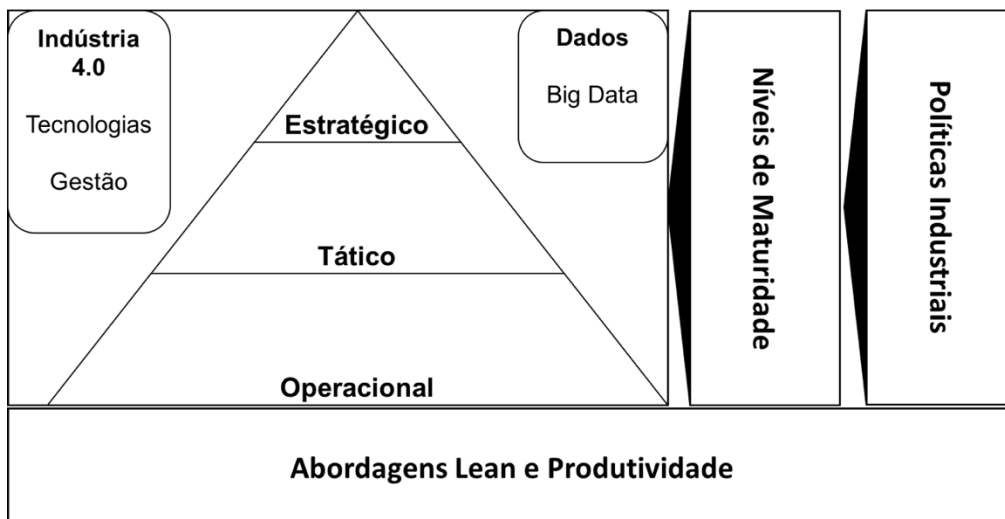


Figura 2 - Modelo Conceitual Fonte: Próprio autor.

O desenvolvimento deste modelo se deu a partir de pesquisas realizadas em livros e artigos alcançados por bases e periódicos acadêmicos. O aprofundamento nos temas foi focado conforme orientação do tópico 1.2 deste capítulo, construindo uma base teórica para se alcançar os objetivos geral e específicos delimitados no tópico 1.1. A partir disso, pode-se responder a seguinte pergunta: Como a utilização das

tecnologias industriais advindas da manufatura avançada podem contribuir para o desafio da evolução da produtividade nas indústrias brasileiras?

A fim de responder essa pergunta, o modelo conceitual elaborado delimita as fronteiras e grau de desenvolvimento e aprofundamento do estudo, indicando os principais tópicos a serem abordados.

Para tanto, fez-se uma revisão bibliográfica das principais tecnologias advindas da Indústria 4.0 e suas potenciais contribuições para a gestão industrial e apresentou-se os diferentes níveis de maturidade para a implantação dessas tecnologias. A pesquisa também aborda os conceitos do *Lean Manufacturing*, ou produção enxuta, para compreender melhor o conceito de produtividade nesse contexto e identificar os fatores que a influenciam e os pontos de intercessão entre esses conceitos e a Indústria 4.0.

Além disso, foi selecionada uma abordagem de aplicação dessas novas tecnologias no chão de fábrica de empresas de diversos setores industriais brasileiros no Capítulo 2. Tal abordagem poderá servir de proposta futura de ação, conforme o resultado da avaliação de maturidade.

1.2.2 Planejamento dos casos

Cauchick (2007) aponta que essa etapa do estudo de caso se inicia a partir da escolha da unidade de pesquisa e na quantidade de casos, que podem ser único ou múltiplos (YIN, 2001). Yin (2001) afirma que existem dois tipos de projetos de estudo de casos: incorporado e holístico.

A partir das informações previamente apresentadas, pode-se afirmar que a presente pesquisa se trata de um estudo de caso integrado de caso único. O projeto é incorporado por apresentar diferentes unidades de análise e único por se tratar de uma pesquisa no contexto Indústria 4.0, ou manufatura avançada.

As unidades de análise serão empresas industriais que já passaram por uma intervenção focada em conceitos do *Lean Manufacturing* ou que já trabalham com uma cultura de manufatura enxuta bem estabelecida. Faz-se necessário a realização de visitas *in loco* para aprofundar a análise a ser realizada neste estudo de caso.

Dada a escolha do tipo de estudo de caso e das unidades de análise da pesquisa, é necessário planejar a realização da coleta e análise de dados. Para tanto, foram

escolhidos métodos e ferramentas que auxiliaram a condução do estudo de caso. A coleta de dados será feita por meio de entrevistas e observação diretas nas unidades de análise e por meio da aplicação de uma avaliação de maturidade desenvolvida com base no referencial teórico desta pesquisa. Para tanto, serão desenvolvidos protocolos de coleta de dados e o haverá controle dos meios de pesquisa, conforme a proposta de Cauchick (2007).

Deve-se ressaltar que há a preocupação com a qualidade do projeto, logo pode-se aplicar de quatro (4) testes lógicos para determinar a qualidade da pesquisa: validade do constructo, validade interna e externa e confiabilidade (YIN, 2001). A validade do constructo visa estabelecer as medidas corretas quanto a definições de conceito a serem utilizados. Validades internas e externas estabelecem, respectivamente, uma relação causal que mostra como algumas condições levam às determinadas situações e o domínio ao qual as descobertas do estudo podem generalizar-se. Por fim, a confiabilidade se dá pela demonstração da possibilidade de replicação das operações do estudo, tal como a coleta de dados.

Nesta pesquisa, serão utilizados dois (2) dos testes propostos por Yin (2001) pela seguinte maneira:

1. Validade do constructo: elaborou-se o referencial teórico (Capítulo 2) a partir de estudos dos principais autores levantados por meio de uma análise bibliométrica na base *Web of Science* e por trabalhos propostos pela professora orientadora. Quanto a coleta de dados, serão feitas coletas de diferentes fontes, mitigando as chances de inconsistências.
2. Confiabilidade: realizada a partir do protocolo da coleta de dados, da documentação das etapas da pesquisa, viabilizando dessa forma a replicação do trabalho para estudos futuros.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este projeto de pesquisa, portanto, está dividido em 5 partes: introdução, referencial teórico, estudo de caso, resultados e considerações finais.

O Capítulo 1 tratou-se da introdução, ou seja, a apresentação do tema e um apanhado geral de toda a estrutura do projeto de pesquisa. Foram apresentados o problema, os objetivos, foco do tema e a metodologia de pesquisa, justificando todo o trabalho e orientando o leitor sobre a condução metodológica da pesquisa.

O Capítulo 2 se trata de uma revisão bibliográfica de sobre o tema de pesquisa. Neste capítulo, os temas e abordagens de pesquisa são explicados de forma detalhada para que o leitor possa compreender os termos específicos utilizados na tratativa do tema de pesquisa. Além disso, essa parte do trabalho dará todo o respaldo para os próximos capítulos, onde será apresentado o estudo de caso, os resultados e as considerações finais, respectivamente.

Nos Capítulo 3, 4 e 5 serão apresentados, respectivamente, o detalhamento do estudo de caso, os resultados obtidos através das análises feitas nesse estudo de caso e as conclusões finais do trabalho.

2 CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Este segundo capítulo tem por objetivo apresentar os principais conceitos associados a Indústria 4.0. Para tanto buscou-se na base *Web of Science*, os autores com maior número de citações, sendo selecionados os dez (10) principais autores. Além disso, buscou-se informações sobre os modelos de implementação empregados no Brasil. Neste contexto, apresenta-se o modelo em desenvolvimento do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 2018).

2.1 INDÚSTRIA 4.0

Kagermann et al (2013) apontam que o conceito de Indústria 4.0 nasceu no contexto de competitividade da indústria alemã, ao lado com a evolução dos computadores e da tecnologia da informação e da comunicação. Os autores propõem que a quarta revolução industrial é caracterizada pela necessidade da interação entre a manufatura e a adoção de novas tecnologias, tais como sistemas cyber-físicos, internet das coisas, internet dos serviços e sistemas e fábricas inteligentes, de modo a garantir maior vantagem competitiva para a indústria alemã.

Após ter iniciado na Alemanha, o tema tornou-se de interesse mundial, tal como indicam os trabalhos *Technology Strategy Board* (2012) e Espinel (2012), que tratam no Reino Unido e nos Estados Unidos, onde a quarta revolução industrial é denominada de manufatura avançada. Na França, o tema é tratado como Manufatura do Futuro. Outro termo também usado neste contexto é conhecido como fábricas Inteligentes

Hofmann (2017) coloca que o conceito é construído na ideia de um sistema de produção descentralizado, no qual, pessoas, máquinas e recursos interagem naturalmente, tal como uma rede social.

Kagermann et al (2013) reforçam a importância do termo “inteligente” para a Indústria 4.0, pelo fato de que fábricas inteligentes proporcionam uma produção mais flexível e customizada. Os autores colocam sistemas inteligentes permitem que os trabalhadores dediquem mais tempo e esforço em atividades criativas, ao invés de atividades rotineiras que não agregam muito valor para a cadeia produtiva da empresa, o que impacta diretamente na qualidade do trabalho e, conseqüentemente, na eficiência e produtividade do operador.

Fábricas inteligentes, portanto, se tratam de indústrias com processos de produção descentralizados e com alta operacionalização de dados (CAPGEMINI, 2014).

McKinsey (2015) apresentam um estudo sobre as características das plantas industriais do futuro. Dentre elas há a divisão entre *bronwfield* e *greenfield*, sendo que a primeira trata de plantas nas quais existe alta conectividade entre os equipamentos, ou seja, elevados índices de IoT e a segunda se expande para três níveis de plantas:

1. Plantas inteligentes: 100% de automação e alto grau de eficiência para produção em larga escala;
2. Plantas para customização em massa: fluxo de peça única com trabalho personalizado produtos em uma base de ordem por ordem;
3. *E-Plants*: plantas desenhadas para alcançar nichos e mercados remotos. Trabalham em pequena escala e baixos custos e produzem uma variedade limitada de produtos a um custo competitivo.

Logo, um dos pontos chaves na nova revolução industrial, Industria 4.0, é o emprego de tecnologias alinhado com novas formas de gestão organizacional. Neste contexto novos conceitos tecnológicos estão sendo implementados nas empresas tais como: os sistemas cyber-físicos, internet das coisas, internet dos serviços e fábricas inteligentes (LEITÃO E BARBOSA, 2016; ZEZULKA et al, 2016; TANTIK E ANDERL, 2017) e *Big Data* (MCAFEE et al, 2012). A Figura 3 apresenta os principais conceitos que cercam a nova dinâmica industrial, que tem como base a organização produtiva (CIRERA e MALONEY, 2017) auxiliada por tecnologias avançadas que viabilizam o cenário de inteligência produtiva e integração do mundo físico com o mundo digital por meio dos sistemas cyber-físicos (KAGERMANN, 2013).

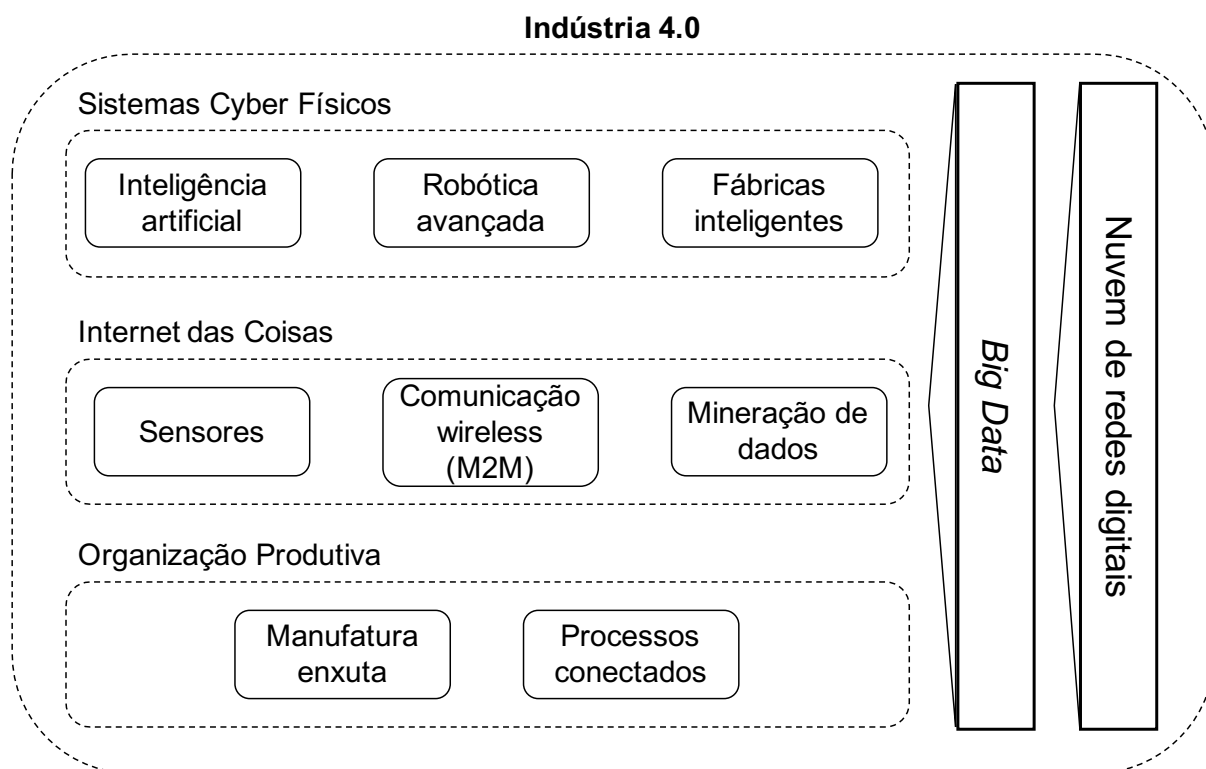


Figura 3: Indústria 4.0

Portanto, a seguir serão apresentados uma breve descrição destas tecnologias e conceitos que norteiam a Indústria 4.0.

2.1.1 Sistemas Cyber-Físicos (CPS – *Cyber-Physical Systems*)

Um CPS é definido como um sistema de engenharia que monitora, coordena e controla todas as operações de um ambiente físico por meio de computadores (RAJKUMAR et al, 2010).

Segundo Leitão et al (2015) O CPS é um sistema autônomo composto por hardwares, softwares, interfaces, capazes de traduzir o ambiente físico em um ambiente digitalizado por meio da combinação entre a mecatrônica com a tecnologia da informação.

A utilização de um CPS proporciona uma maior capacidade de flexibilização da produção, tornando a manufatura cada vez mais híbrida (SCHUH et al, 2014; TORO et al, 2015; TANTIK e ANDERL, 2017).

Wagner et al (2017) os CPSs devem levar em consideração três (3) pilares: aquisição e processamento de dados, comunicação máquina-máquina (M2M) e interação homem-máquina. A partir destes 3 pilares são definidos diferentes modelos de

arquitetura. Como exemplo, tem a arquitetura proposta por Pisching et al (2017), que viabiliza a operação de produtos inteligentes, garanta flexibilização da manufatura e proporcione conectividade por meio de cinco (5) camadas, conforme Figura 4.

1. Conexão inteligente: interface dos processos físicos do sistema produtivo, possibilitando atuação dos equipamentos e sensoriamento do sistema;
2. Inteligência local: conversão de dados em informação e análise e tratamento dessas informações;
3. Cibernética: envio de informações para a camada anterior (inteligência local);
4. Cognição: análise do sistema digitalizado como um todo;
5. Coordenação: tomada de decisões a partir das análises feitas pelas camadas anteriores.

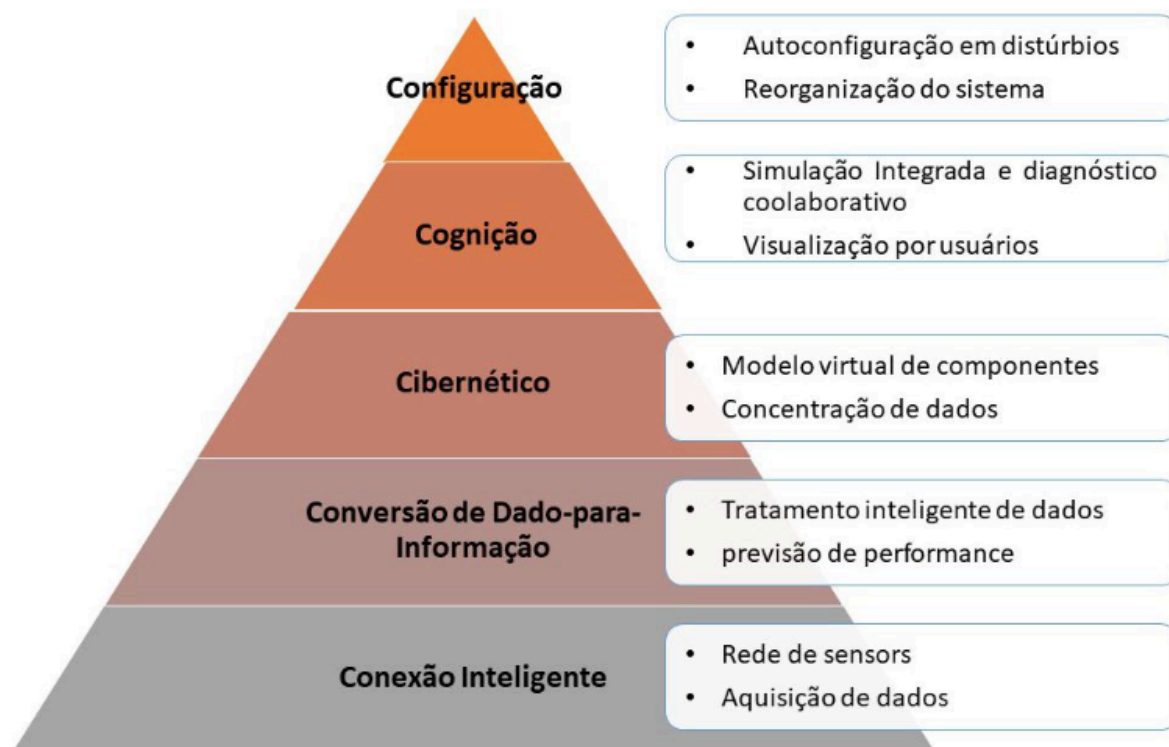


Figura 4: Arquitetura 5C. Fonte: Pisching et al (2017), apud Lee (2008)

A partir dessa arquitetura, os CPSs atuam de modo a integrar todos os produtos inteligentes da fábrica de maneira digitalizada, otimizando processos de tomada de decisão e possibilitando o desenvolvimento da manufatura cada vez mais híbrida. Portanto, sistemas cyber-físicos podem ser considerados como habilitadores tecnológicos, contribuindo para a conectividade entre o mundo físico e o mundo

tecnológico e abrindo espaço para outras tecnologias da manufatura avançada, como a internet das coisas (KAGERMANN et al, 2013).

2.1.2 Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*)

A internet das coisas (IoT) se dá pela rede de interconectividade entre objetos do cotidiano (XIA et al., 2012). Esses objetos podem, dentre outros, se tratar de sensores, telefones celulares, GPSs, computadores, etc. A partir desta rede de interconectividade, as realidades física e virtual são capazes de se interagir de forma completa e trabalhar para o alcance de metas e objetivos comuns (Atzori et al, 2010).

2.1.2.1 Internet dos Serviços (IoS – *Internet of Services*)

Dentro da abordagem de interativa está o conceito da internet dos serviços (IoS). Hofmann et al (2017) explicam que a interatividade proporcionada pelo desenvolvimento tecnológico permite que empresas e/ou simples usuários possam combinar, criar e oferecer novos tipos de serviços. Desta forma, os serviços tecnológicos irão cumprir um papel importante nessa nova tendência industrial.

A internet dos serviços (IoS), com a internet das coisas (IoT) viabiliza a criação de redes de interconectividade que têm a capacidade de incorporar todo um processo de manufatura a ponto de transformar uma fábrica em um ambiente inteligente. Além disso, essa rede é capaz de proporcionar maior interação entre fábricas e seus fornecedores (KAGERMANN, 2013).

2.1.3 Big Data

O *Big Data* também com base em Oussous et al (2017) trata do crescimento das estruturas heterogêneas de dados, ou seja, uma maior complexidade de dados que exige o auxílio de tecnologias mais avançadas para o tratamento e análise mais assertivos, uma vez que métodos tradicionais de *Business Intelligence (BI)* não são suficientes para tanto.

McAfee et al (2012) diferencia o conceito de *Big Data* e análise de dados por meio de três fatores: volume, velocidade e variedade.

- O volume se refere a quantidade de dados gerados por dia, que permite que as empresas trabalhem na escala de *petabytes* (um quatrilhão) de dados em determinado conjunto de dados, portanto, isso gera oportunidade para ganho de competitividade.

- A velocidade se refere as informações que são geradas em tempo real, ou quase isso, e essa velocidade vem propiciando maior agilidade das empresas em relação a seus competidores.
- A variedade dos dados é um dos maiores desafios, que além de diversificadas, podem ter diversas fontes.

McAfee et al (2012) corroboram que a medida o tempo passa, as atividades de negócio estão cada vez mais se digitalizando, e isso se dá pelo fato de que tudo, inclusive pessoas, são fontes de dados que podem ser analisados no contexto do *Big Data*, ou seja, empresas que têm a capacidade de tratar e analisar o maior quantitativo de dados independentemente de sua estrutura, *possuem* maior capacidade competitiva, a exemplo da Google.

Chen et al (2014) apontam os principais desafios relacionados a *Big Data*, apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Desafios do *Big Data*

Representação de dados	Tratamento de dados visando torna-los mais significativos para análises de computadores e interpretação de usuários.
Redução de redundância na compreensão de dados	Redução do custo indireto de todo o sistema no intuito de não afetar os valores potenciais dos dados.
Gestão do ciclo de vida dos dados	Desenvolvimento de um princípio de importância de dados relacionado ao valor analítico dos mesmo a fim de decidir quais dados devem ser armazenados e quais dados devem ser descartados.
Mecanismos de análise	Processamento de grandes quantidades de dados heterogêneos por meio de um sistema analítico de dados importantes em um curto período de tempo
Confidencialidade dos dados	Gestão dos riscos de segurança de dados devido a quantidade de dados analisados, as ferramentas de análise capacidade dos profissionais responsáveis pela análise.
Gestão de energia	Deve-se gerir o consumo de energia elétrica que tende a subir devido ao aumento do volume de dados e as demandas analíticas, o processamento, o armazenamento e a transmissão de dados importantes.
Escala e expansão dos dados	Capacidade do sistema analítico de dados grandes em suportar os conjuntos de dados presentes e futuros. O algoritmo analítico deve ser

	capaz de processar conjuntos de dados cada vez maiores e mais complexos.
Cooperação	Para que o <i>Big Data</i> seja utilizada de maneira correta, é necessário que haja cooperação de diversas áreas, uma vez que a análise dessa tecnologia 4.0 se trata de uma pesquisa multidisciplinar.

Fonte: Adaptado de Chen et al (2014).

2.1.4 Gestão na Indústria 4.0

Todos os pilares tecnológicos da Indústria 4.0 trazem uma enorme contribuição para gestão industrial no contexto da revolução tecnológica. Big Data, por exemplo, além de representar uma mudança disruptiva devido ao grande volume dado, apresenta desafios para gestão empresarial tais como liderança, gestão de talentos, tecnologia, tomada de decisão e cultura empresarial (McAfee et al, 2012; McKinsey, 2015). Os sistemas cyber-físicos, a internet das coisas e dos serviços e as fábricas inteligentes também representam mudanças disruptivas no que tange a gestão empresarial devido ao aumento da conectividade e a todo o poder computacional que estes conceitos englobam (MCKINSEY, 2015).

As tecnologias habilitadoras proporcionam a criação de um novo modelo industrial, o qual possui alto grau de informatização, automação e descentralização das operações e do gerenciamento de indústrias (PISCHING et al, 2017).

Capgemini Consulting (2014) apresenta o novo modelo de negócio da manufatura, onde é possível identificar os pontos de intercessão entre as tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 e os diferentes níveis de gestão e processos de uma organização no nível estratégico, tático e operacional.

- Em nível estratégico estão associadas as ideias dos potenciais de otimização de receita e sustentabilidade organizacional proporcionados pela integração das tecnologias habilitadoras da manufatura avançada com o ambiente industrial, gerando cada vez mais eficiência produtiva, melhoria na qualidade do trabalhador e redução de gastos operacionais.
- Em nível tático é possível identificar tecnologias citadas anteriormente neste capítulo, a partir dos quatro pilares de inteligência da Indústria 4.0, representados pela Figura 5.

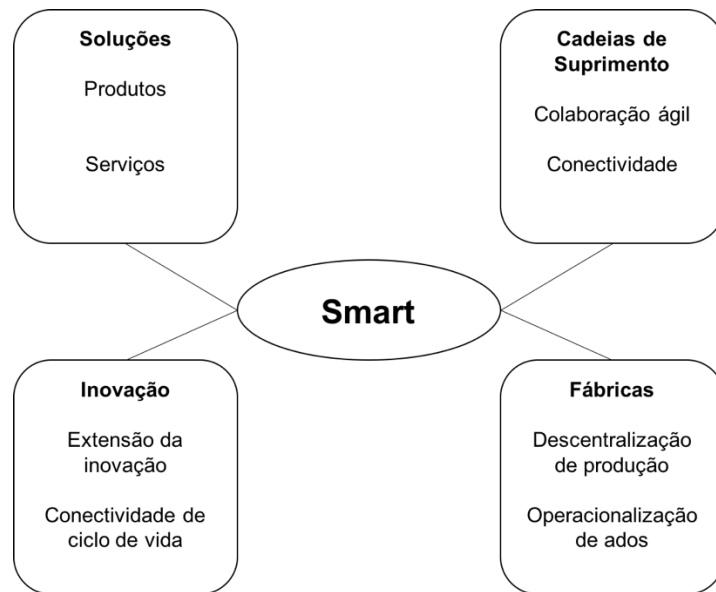


Figura 5 - Nível tático da Indústria 4.0 Fonte: Adaptado de Capgemini (2014).

Os pilares tecnológicos da Indústria 4.0 como o sistema cyber-físico, a internet das coisas e dos serviços e a fábrica inteligente (KAGERMANN, 2013) se encontram no nível tático. O CPS se encontra de modo descentralizado em todo o nível tático, desde as soluções até as fábricas inteligentes, assim como o IoT. O IoS está fortemente presente nas cadeias de suprimento inteligentes na formação de redes que permitem a colaboração ágil e a conectividade entre as partes interessadas. As fábricas inteligentes, como um todo, compõem um pilar de inteligência do modelo de Capgemini (2014).

- Por fim, em nível operacional estão todos os habilitadores tecnológicos a nível micro, tais como a comunicação wireless, nuvens de rede digitais, a comunicação máquina-máquina (M2M), impressão 3D, análise de dados avançada (Big Data), dentre outros (CAPGEMINI, 2014).

2.2 PRODUTIVIDADE E ABORDAGENS LEAN

O conceito de produtividade é muito abrangente na literatura, ou seja, avaliado sob diferentes aspectos. De maneira geral, a produtividade é medida por meio da utilização dos recursos disponíveis em um processo produtivo, ou seja, quanto maior a capacidade produtiva de uma fábrica considerando a mesma quantidade de recursos, melhores serão seus índices de produtividade.

A premissa adotada no contexto da indústria 4.0 referente a produtividade é que maior digitalização e conectividade para elevar a eficiência produtiva fabril.

Schuh et al (2015) colocam que o conceito de produtividade no contexto de indústria 4.0 é nomeado produtividade colaborativa. A produtividade colaborativa está associada aos quatro fatores que são: globalização da tecnologia da informação, uma fonte única de informação, a automação e a cooperação.

A globalização da tecnologia da informação está relacionada com o potencial dos computadores no impacto sobre o crescimento econômico mundial e, portanto, sua relevância em chãos de fábrica. Atualmente é essencial que haja capacidade de armazenagem de informações e alta velocidade de análise de computadores para a produção em um ambiente industrial inteligente, porém, para que não exista ambiguidade nestes dados, é necessário que se tenha uma única fonte de informação para apoio à tomada de decisão. A fonte única de informação permite, inclusive, que a empresa possa se utilizar de simulações como ferramentas para o processo decisório e Schuh et al (2015) propõem a automação como uma das principais alternativas para que os viabilizadores apresentados anteriormente sejam desempenhados da melhor maneira possível. O estudo aponta a integração entre computadores, sensores e pessoas, ou seja, o conceito de internet das coisas (IoT) como de suma importância para a automação, portanto, a cooperação vem como viabilizador complementar aos citados, reforçando a importância do trabalho em rede de todos os componentes transformadores e transformados no processo produtivo de uma indústria da quarta revolução industrial.

Schuh et al (2014) afirmam que a melhoria da produtividade se dá por meio dos seguintes mecanismos:

- **Processos de desenvolvimento de produtos curtos:** atrelado ao fato de que cada vez mais se aumenta o número de inovações disruptivas e, conseqüentemente, o ciclo de vida dos produtos diminuem de maneira drástica, processos de desenvolvimento de produto curtos auxiliam empresas e indústrias a manter o diferencial competitivo. A prototipagem rápida e simulações por meio de sistemas inteligentes podem reduzir o tempo de entrada de novos produtos no mercado.
- **Engenharia virtual de cadeias de valor:** a utilização de softwares, que representam a realidade da complexidade de uma cadeia de valor, ou seja, a representação virtualmente para que análises estruturais e funcionais do desempenho organizacional. Uma vez que programas possibilitam a

identificação nas falhas no desempenho da cadeia de valor e a inferência sobre os fatores que potencialmente estão afetando negativamente os pontos críticos do processo produtivo da organização, o processo de tomada de decisão é extremamente favorecido partir de informações geradas por esses tipos de software. Neste contexto o desenvolvimento de produtos também pois há eliminação de atividades que não agregam valor e ganho de produtividade e assertividade na cadeia de valor e no desenvolvimento de produtos.

- **Cadeias de valor radicalmente reduzidas:** customização e flexibilidade são fatores imprescindíveis para a Indústria 4.0, para tanto, os autores sugerem que máquinas multifuncionais e células de produção deverão ser utilizadas nessa nova era da indústria. Conceitos desta nova era industrial têm uma proposta contrária ao Taylorismo, uma vez que as linhas de montagem não permitem flexibilidade produtiva e a formação de células produtivas possibilitam tal feito. Todavia, o autor sugere que existem limites quanto ao número de etapas nos processos de uma célula e também no número de células, caso contrário o custo de produção por peça aumentaria excessivamente, inviabilizando a customização da produção.
- **Melhor desempenho da engenharia:** o melhor desempenho está associado ao fato de que sistemas produtivos que são capazes de otimizar seus desempenhos automaticamente, são viáveis nos dias atuais. Estes sistemas são capazes otimizar os processos produtivos de modo a reduzir a carga de trabalho e trabalhar de uma maneira considerada ótima. O autor deixa claro que para que estes sistemas possam funcionar, é necessário se utilizar do conceito de sistemas cyber-físicos a fim de dar autonomia para os sistemas melhorarem seus desempenhos de modo autônomo.

Cada um destes mecanismos apresentados por Schuh et al. (2014) possui seus indicadores que quantificam o desempenho produtivo da empresa. Os dois primeiros analisam a produtividade no retorno sobre a engenharia, analisando os fatores de melhoria na velocidade do ciclo de vida dos produtos e capacidade de decisão. Os dois últimos mecanismos apresentados possibilitam a mensuração do retorno sobre a produção, seja por meio do número de etapas nos processos de produção da indústria ou pela razão entre a produtividade factível/realizada e a produtividade planejada.

O conceito de produtividade apresentado por Schuch et al (2014), tem complexidade maior do que a produtividade que se busca analisar ao longo da presente pesquisa se trata da capacidade de transformação de materiais com a menor quantidade de recursos utilizados possível, sejam recursos humanos, financeiros, de energia ou maquinários (COOPER e EDGETT, 2015).

Portanto, técnicas atreladas a abordagens *Lean* podem servir como bons componentes operacionais para se obter melhores índices de eficiência produtiva, uma vez que a abordagem *Lean* está associada à otimização de recursos a partir da eliminação e desperdícios no processo produtivo (OHNO, 1997).

As abordagens *Lean*, se iniciaram a partir do cenário japonês após a segunda guerra mundial, com o sistema Toyota de Produção, que de acordo com Ohno (1997) é pautado em dois princípios: O *Just in Time* (JIT) e a automação, que significa a automação trabalho manual. O JIT, por outro lado, se trata de uma filosofia pela qual o processo produtivo é sempre abastecido no momento correto e com a quantidade certa de partes necessárias para a montagem. Ambos princípios levam a resultados importante para a manufatura: desperdício zero, alta flexibilidade e aumento de produtividade que podem ser aplicados com a utilização das seguintes ferramentas: mapa de fluxo de valor (MFV), troca rápida de ferramenta (TRF), fluxo contínuo, trabalho padronizado, produção puxada, qualidade na fonte e 5 sentidos (5S). Por meio destes métodos o *Lean Manufacturing* se tornou uma das principais abordagens de negócio para indústrias, se mostrando mais eficiente do que a produção em massa (HOLWEG, 2006). Tais métodos contribuem para o aumento de produtividade no contexto industrial.

2.3 CONECTIVIDADE

Dadas as tecnologias habilitadoras da quarta revolução industrial e as abordagens *Lean* que estão diretamente ligadas ao processo de otimização produtiva, deve-se pensar em formas de combinação destes fatores para se implementar ações focadas na transformação digital. As vantagens de flexibilidade, eficiência e desempenho produtivo proporcionadas pela Indústria 4.0 se dão por meio da conectividade entre as operações de uma fábrica e as tecnologias da informação e comunicação (ZARTE et al, 2016).

A conectividade destes fatores é essencial para que os resultados esperados da manufatura avançada sejam alcançados, ou seja, sistemas de manufatura devem estar completamente conectados à sistemas digitais (MOURTZIS et al, 2018).

O Rojas et al. (2017) enfatizam à importância da conectividade como forma de integração de uma empresa na vertical e horizontal. A conectividade proporciona a verticalização dos processos de manufatura, ou seja, a reconfiguração das operações em uma arquitetura descentralizada, permitindo um processo mais colaborativo. Além disso, há a horizontalidade da cadeia de suprimentos, criando-se mais valor para os clientes do negócio.

Assim sendo, a internet das coisas (IoT) se torna uma das principais soluções tecnológicas da manufatura avançada a partir de uma rede de sensores capazes de transmitir informações da realidade do chão de fábrica para um sistema de monitoramento da produção em uma escala de tempo real (MOURTZIS et al, 2018). Todavia, a IOT não atua sozinha no processo de conectividade, tecnologias de *Big Data*, de aquisição de dados e computação em nuvem também são habilitadores deste processo (MOURTZIS et al, 2018).

O trabalho de Ye e Qiu (2003) apresentam um sistema capaz de preencher as lacunas entre a realidade das operações de uma fábrica e seus sistemas gerenciais. Assim como no trabalho de Ye e Qiu (2003), o trabalho mais recente de Zarte et al (2016) apresenta o sistema de execução de manufatura (MES – *Manufacturing Execution Systems*) como solução de conectividade, uma vez que este sistema é capaz de coletar os dados em tempo real e traduzi-los para gerar informações relevantes aos sistemas de planejamento da empresa.

Um sistema MES proporciona a troca de informações entre as áreas de gestão da empresa, controladas geralmente por um sistema de planejamento de recursos (ERP – *Enterprise Resource Planning*), e os processos do chão de fábrica da empresa (D'ANTONIO et al, 2017). Essa troca de informações se dá por meio da combinação de diferentes aplicações customizadas de softwares. Trata-se de um sistema com diferentes módulos de integração (ZARTE et al, 2016), tais como a gestão de recursos, aquisição de dados da produção e planejamento da produção.

Um sistema MES, por realizar a integração entre as tecnologias da informação com as operações de uma empresa, deve ser capaz de lidar com o fluxo dados *bottom-up*

e com a gestão do fluxo de dados *top-down* (D'ANTONIO et al, 2017). A Figura 6 apresenta a estrutura do sistema e suas integrações com os demais sistemas de uma empresa.

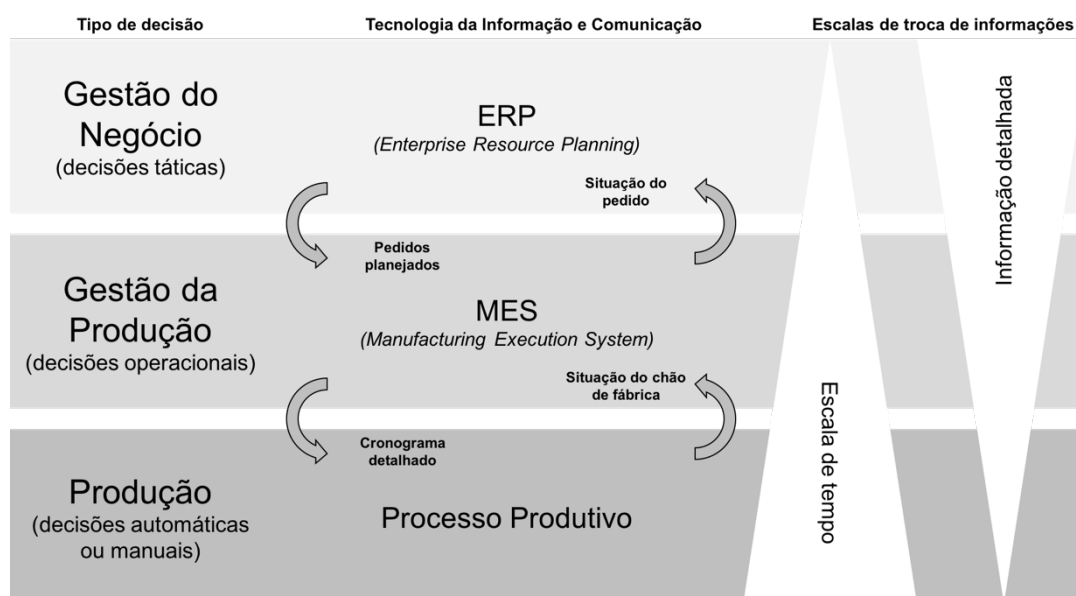


Figura 6 - Integração de um sistema MÊS Fonte: Adaptado de D'Antonio et al (2017)

Conforme apresentado na Figura 6, um sistema MES pode ser a solução para integração entre a produção e a gestão do negócio. Todavia, é preciso ter um entendimento do seu processo produtivo para se implementar um sistema com os requisitos que atendam as necessidades de determinada empresa.

Por conseguinte, torna-se importante entender o nível de maturidade do processo produtivo antes de tomar a decisão de implementar um sistema MES, pois partir da maturidade do processo de produção, pode-se definir quais são as ações a serem tomadas antes da implementação de um sistema de tal complexidade.

2.4 MODELOS DE MATURIDADE

São encontrados na literatura estudos que apresentam modelos de maturidade com intuito de auxiliar na implementação dos conceitos em uma planta industrial.

Schuh et al (2017) desenvolveram um modelo de maturidade em etapas. O modelo desenvolvido pelos autores apresenta nove dimensões para avaliação da maturidade em uma organização são eles: estratégia, liderança, clientes, produtos, operações, cultura, pessoas, governança e tecnologia.

Estas dimensões estão ligadas à 6 níveis de maturidade, representadas na Figura 7.

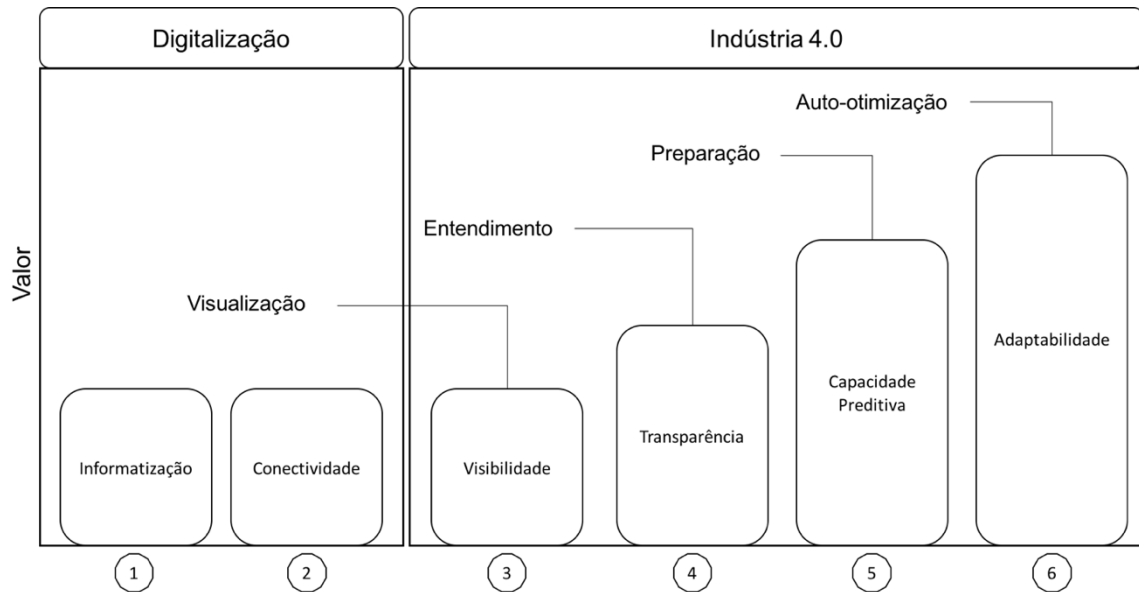


Figura 7 - Níveis de maturidade da Indústria 4.0 Fonte: Adaptado de Schuh et al. (2017)

O autor, portanto, sugere que para se alcançar o patamar da Indústria 4.0 é necessário que haja melhorias consideráveis nos aspectos digitais e tecnológicos. O modelo proposto no trabalho envolve toda a organização em seis níveis de maturidade, que são:

1. Informatização:

Neste primeiro estágio os computadores funcionam de forma isolada para dar suporte a determinadas tarefas fabris e a maioria das empresas já se mostra com o um estágio mais avançado de informatização, uma vez que computadores já vem sendo utilizados para execução de atividades repetitivas de forma mais eficiente. Essa etapa forma a base para a digitalização por fornecer benefícios como a manufatura mais barata com elevados padrões de confiabilidade e precisão desejada para fabricação de produtos modernos.

2. Conectividade:

Com os computadores funcionando da maneira desejada, é possível se estabelecer as conexões entre essas tecnologias por meio de componentes. A fase da conectividade se dar por essa unificação de tecnologias, dando início aos sistemas cyber-físicos, mencionados anteriormente.

3. Visibilidade:

A visibilidade se dá pela coleta em tempo real de uma grande escala de dados que se torna viável por meio da utilização de sensores. A partir dessa coleta em tempo real de dados, os gestores conseguem embasar suas decisões em dados reais e imediatamente atualizados.

A partir disso, é possível manter um modelo de fábrica em tempo real, modelo nomeado como a sombra digital da empresa (Schuh et al, 2017). Todavia, para se alcançar esse patamar existem muitos desafios, principalmente porque empresas têm dificuldade em conseguir aplicar conceito “única fonte de informação”, de Schuh et al (2015), dentre outros problemas como sigilo de informação e o nível de detalhamento dos dados. O autor, portanto, sugere que empresas precisam mudar a forma de pensar em negócios para atingir esse estágio e continuar avançando no modelo de maturidade de Indústria 4.0.

4. Transparência:

Esta etapa se dá a partir do entendimento de algumas atividades que acontecem por meio da análise de dados gerados na sombra digital da empresa. Dessa forma, o objetivo da fase de transparência é de traduzir os dados de forma a fornecer suporte para tomada de decisões de todos os níveis de complexidade. Uma tecnologia de apoio para esse tipo de análise é o *Big Data*.

5. Capacidade preditiva:

A partir desse estágio de maturidade, empresas são capazes de simular cenários futuros a partir de suas respectivas sombras digitais e antecipar o que pode ser desenvolvido no futuro. A capacidade preditiva traz inúmeros benefícios, uma vez que a empresa pode reduzir o número de eventos inesperados e garantir maior precisão no seu desenvolvimento de produtos, gerando uma ampla vantagem competitiva. Vale ressaltar que para isso, é extremamente necessário que as etapas anteriores do índice de maturidade de Indústria 4.0 tenham sido cumpridos da melhor maneira possível.

6. Adaptabilidade:

A partir da capacidade de fazer previsões de cenários com altos índices de precisão, a empresa se torna capaz de se adaptar a inúmeras adversidades que podem ocorrer ao longo dos anos. Essa adaptabilidade está totalmente ligada ao nível de automação na tomada de decisão.

A grande importância dessa última etapa do índice de maturidade é propiciar o uso dos dados da sombra digital para tomar decisões que gerem ótimos resultados a curto prazo, para posteriormente implementar as medidas sem a assistência humana.

Além de Schumacher et al (2017), outros autores já propuseram modelos de maturidade para a realidade da quarta revolução industrial.

Schumacher et al (2016) elaboraram um modelo de maturidade visando avaliar uma empresa em diferentes dimensões apresentadas no Quadro 3. Cada uma dessas dimensões é avaliada separadamente e alocada em um nível diferente de maturidade. O modelo proposto pelos autores contém 5 níveis de maturidade, sendo o primeiro deles representando uma realidade cuja a Indústria 4.0 não é aplicada de nenhuma forma na organização e o quinto nível representa o cenário ideal de aplicação dos conceitos da Indústria 4.0

Quadro 3: Dimensões de maturidade 4.0

Dimensão	Atributos do modelo de maturidade
Estratégia	Implementação de um <i>roadmap</i> tecnológico da Indústria 4.0, recursos disponíveis para a realização do <i>roadmap</i> , adaptação de modelos de negócio...
Liderança	Participação e conhecimento dos líderes, gestão de métodos e competências, existência de uma coordenação central para a Indústria 4.0...
Clientes	Utilização de dados sobre os clientes, serviços e vendas ocorrendo digitalmente, competências para tratar os clientes via mídias digitais...
Produtos	Individualização dos produtos, digitalização dos produtos, integração dos produtos com outros sistemas...
Operações	Descentralização dos processos, modelagem e simulação, colaboração entre as áreas...
Cultura	Compartilhamento de conhecimento, inovação, valorização da tecnologia da informação e comunicação (TIC)...
Pessoas	Pessoas com conhecimento em TIC, pessoas abertas à utilização de novas tecnologias, autonomia...
Governança	Regulações para Indústria 4.0, padrões tecnológicos sustentáveis, proteção de propriedade intelectual...
Tecnologia	Utilização de TICs modernos, utilização de celulares, comunicação M2M..

Fonte: Adaptado de Schumacher et al (2016).

A avaliação de cada uma dessas dimensões é feita com base em um questionário pelo qual os autores buscam identificar as evidências de que os atributos definidos no modelo são aplicados em uma empresa. A partir das respostas, gera-se o

resultado a partir de um algoritmo que apresenta a nota final de cada dimensão avaliada e os pontos focais para implementação de melhorias voltadas para a Indústria 4.0

Lichtblau et al (2015) também desenvolveram um modelo de maturidade pautado na avaliação de dimensões. Estas dimensões foram definidas a partir da proposta de digitalização do estudo, que se baseia em fábricas inteligentes, produtos inteligentes, processos inteligentes e serviços guiados por dados, conforme o Quadro 4.

Quadro 4: Dimensões da Indústria 4.0

Dimensão	Atributos do modelo de maturidade
Fábricas Inteligentes	Equipamentos ligados à sensores e integrados para maior transparência e capacidade de planejamento
Produtos Inteligentes	O produto permanece em constante contato com o fabricante mesmo depois de vendido por meio da inteligência.
Processos Inteligentes	A fábrica inteligente permite planejamento e controle flexíveis da produção
Serviços guiados por dados	A integração de produtos, fabricantes e clientes abre novos mercados para serviços

Fonte: Adaptado de Lichtblau et al (2015).

Neste estudo, os autores avaliam uma empresa por meio de um questionário e, conforme sua pontuação, a posicionam entre os seguintes níveis:

- Nível 0: Leigo
- Nível 1: Iniciante
- Nível 2: Intermediário
- Nível 3: Experiente
- Nível 4: Especialista
- Nível 5: Exímio executor

A partir de então, as empresas são agrupadas nos grupos de recém-chegados, aprendizes e líderes. O primeiro grupo comporta as empresas até o nível 1, que não têm projetos nem pesquisas iniciadas em Indústria 4.0. O segundo contém as empresas do nível 2, sendo que estas já iniciaram seus projetos em Indústria 4.0. Por fim, as empresas que estão alocadas a partir do nível 3 são consideradas modelos de implementação e execução no cenário de Indústria 4.0.

2.5 CENÁRIO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

A quarta revolução industrial e os benefícios a ela associados também afetam a política industrial brasileira, uma vez que o Brasil, conforme o *World Economic Report* (2013), sofre economicamente com os mais baixos índices de manufatura em exportação dentre os países emergentes. Além dos resultados ruins em exportação, a produtividade brasileira também vem em queda, conforme estudo da CNI (2015), sendo que a produtividade é um fator crucial para o crescimento sustentável do país no futuro (DE NEGRI et al, 2014).

Tendo em vista essa problemática e o desafio do aumento de produtividade para a indústria brasileira, o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MDIC e MCTI, 2016) realizaram um estudo que levantou oportunidades de melhoria para a indústria brasileira a partir das mudanças advindas da manufatura avançada.

A partir do estudo, foi possível levantar os principais desafios de implantação da cultura de manufatura avançada na indústria brasileira, sendo eles: gestão da informação e do conhecimento tecnológico, uso de ferramentas de inteligência artificial, digitalização e integração cibernética, sensoriamento, uso de mais tecnologias para novos negócios modernizando o parque fabril. Estes desafios geraram diversas propostas de melhoria que foram transformadas em ações para a política industrial do Brasil envolvendo a Câmara IOT, o BNDES, a EMBRAPA, SIBRATEC, ABII, SENAI, dentre outros (MDIC e MCTI, 2016).

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, é dado o destaque para ações interventivas de manufatura avançada envolvendo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Como uma tentativa de proporcionar uma mudança cultural na indústria, o SENAI lançou um método com o foco em aumento de produtividade pelo *Lean Manufacturing* e sustentação e incremento dessa produtividade por meio da implantação de tecnologias avançadas nas linhas produtivas.

2.5.1 Abordagem empregada pelo SENAI (2018)

A abordagem empregada pelo do SENAI envolvendo as abordagens *Lean* com a manufatura enxuta e a Indústria 4.0 em digitalização e conectividade é dada a partir da premissa de que a aplicação de métodos, técnicas e ferramentas da manufatura

enxuta gera aumento de produtividade do trabalho nas indústrias brasileiras. Todavia, após a intervenção da manufatura enxuta, a curva de crescimento da produtividade tende a cair, uma vez que sua manutenção exige uma mudança de cultura organizacional.

A abordagem se inicia por meio da intervenção da manufatura enxuta em uma linha produtiva específica de uma indústria. A escolha da linha se dá por meio de um diagnóstico da situação atual em que a empresa se encontra.

O processo de digitalização e conectividade se encaixa na metodologia como elemento complementar a essa mudança cultural. Por meio da instalação de hardwares de sensoriamento e de um software para coleta e tratamento dos dados gerados pelos sensores, será possível mapear a evolução produtiva da linha de produção planejar ações para combater gargalos por meio do método A3.

O método A3 envolve um *follow-up* da metodologia da manufatura enxuta para a realização da análise de dados, de histórico de paradas e ações tomadas, redesenho de processos, análise de problemas por meio da identificação de suas respectivas causas raiz e, por fim, planejamento de ações a serem tomadas. Sua aplicação se dá na fase de sustentação da metodologia, baseada nos princípios de PDCA e autossuficiência.

A sustentação do método será feita de forma gradativa, de modo a garantir que haja uma real mudança cultural na organização, para que os resultados obtidos na aplicação da metodologia sejam sustentáveis. Para complementar a sustentação da metodologia, haverá capacitações dos funcionários ao longo das etapas de sua aplicação.

Além disso, haverá etapas de capacitação dos funcionários ao longo de toda sua aplicação para reforçar essa transição cultural. A estrutura da metodologia está ilustrada no esquema da Figura 8.

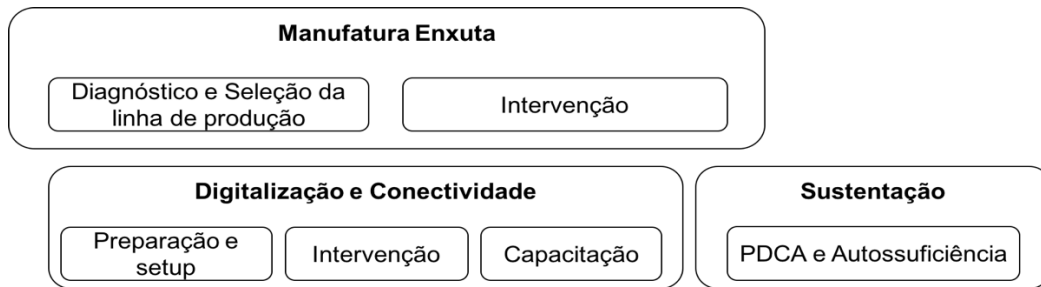


Figura 8 - Metodologia *Lean* + Digitalização e Conectividade Fonte: SENAI

A abordagem apresentada na Figura 8 é a estratégia do SENAI para introduzir conceitos de internet das coisas para e *Big Data* em indústrias brasileiras de modo que estas possam trabalhar com tecnologias que auxiliem na tomada de decisão do chão de fábrica. Todavia, é necessário entender se a empresa está preparada para instalar e gerir estas tecnologias. Portanto, os próximos capítulos irão apresentar a adaptação do modelo de maturidade para realizar essa avaliação e apoiar o SENAI em sua investida na Indústria 4.0.

3 CAPÍTULO 3: ADAPTAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE

Baseado principalmente nos modelos de Schumacher et al (2016) e Schuh et al (2017), fez-se uma adaptação de modelos de maturidade para mapear a situação organizacional de empresas no Brasil. Esta adaptação desenvolvida está focada na gestão da operação para que uma empresa possa se preparar operacionalmente para crescer no contexto da Indústria 4.0.

O modelo proposto avalia cinco dimensões da empresa: pessoas, processos de manufatura, produtos, tecnologias avançadas e seu modelo de negócio. As dimensões serão avaliadas a partir das atribuições necessárias para que cada uma delas atenda às necessidades da Indústria 4.0.

Portanto, foram definidos os atributos para cada dimensão para que fosse possível avaliar o cenário da empresa de forma mais completa e traçar ações mais assertivas voltadas à mudança dentro do contexto da Indústria 4.0.

O escopo do trabalho abrange estabelecer os requisitos necessários para que a empresa continue evoluindo no cenário de manufatura avançada além da gestão operacional.

O foco principal do trabalho está entre os níveis iniciais de organização produtiva de uma fábrica até da gestão guiada por dados, mas principalmente nos níveis de organização e digitalização e conectividade da planta. Isso se deve ao fato de que o projeto defende a ideia de que é necessário organizar-se operacionalmente para que as próximas ações sejam tomadas de maneira mais assertiva (CIRERA e MALONEY, 2017).

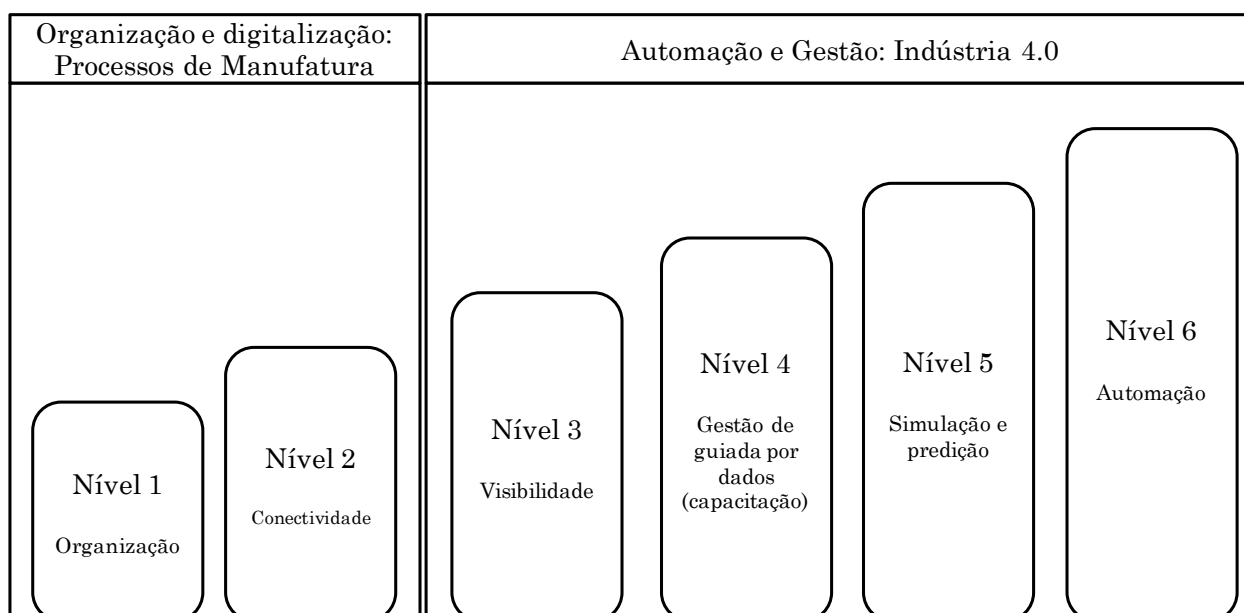


Figura 9 - Modelo de maturidade para a Indústria 4.0 Fonte: adaptado de Schumacher et al (2016) e Schuh et al (2017)

Desta forma, o modelo de maturidade adaptado está dividido em dois estágios: organização e digitalização, que diz respeito ao processo de manufatura, e automação e gestão, que corresponde aos níveis que se encontram dentro do contexto de Indústria 4.0, conforme apresentado na Figura 9.

As dimensões de pessoas, processos, produtos e tecnologias e modelo de negócio serão avaliadas dentro de cada um desses níveis. Para tanto, fez-se uma revisão bibliográfica visando identificar os atributos para a avaliação de cada uma das dimensões e níveis de maturidade.

As principais pesquisas citadas no Capítulo 2 contribuíram para o desenvolvimento do modelo conceitual apresentado na Figura 10 de modo a mapear os possíveis cenários de cada nível de maturidade.

O modelo se inicia no cenário onde a empresa encontra-se no estado de necessidade de organização produtiva. Para tanto, utilizou-se o estudo de Ohno (1997) para definir os aspectos da realidade produtiva destas empresas como a produção empurrada e inflexível, modelos de negócios reativos, além de elencar as principais soluções para mudar essa realidade e iniciar o processo de preparação para a digitalização da empresa.

Assim como no primeiro nível deste modelo, os atributos de avaliação em nível de conectividade foram definidos a partir de estudos que apontam as características que

influenciam na conectividade e integração dos processos. Por isso, os estudos de Ferreira (1998), Carvalho e Avelar (2017), Schuh et al (2017) e Mourtzis et al (2018) contribuíram para a definição dos atributos desejáveis para as diferentes dimensões em nível de conectividade no modelo proposto na presente pesquisa.

Jäger et al (2014) apresentam as principais habilidades desejadas para um trabalhador inserido no contexto da Indústria 4.0, ou seja, a partir do nível de integração e transparência. Além disso, os autores propõem modelos de negócios voltados para a inovação, com prototipagem rápida na produção e aumento da capacidade produtiva.

Por fim, os trabalhos Kagermann et al (2013), assim como Schumacher et al (2016, Schuh et al (2017) e Capgemini (2014), somaram muitas informações ao modelo apresentado na Figura 10, se tratando das principais referências para o desenvolvimento desta pesquisa. Estes trabalhos apresentam os principais fatores que caracterizam o cenário evolutivo para se alcançar o patamar de Indústria 4.0.

Desta forma, a Figura 10 apresenta os atributos de cada dimensão e seus estágios de maturidade até o quarto nível do modelo de maturidade proposto na pesquisa, devido ao foco do trabalho estar na gestão das operações de uma fábrica no contexto da Indústria 4.

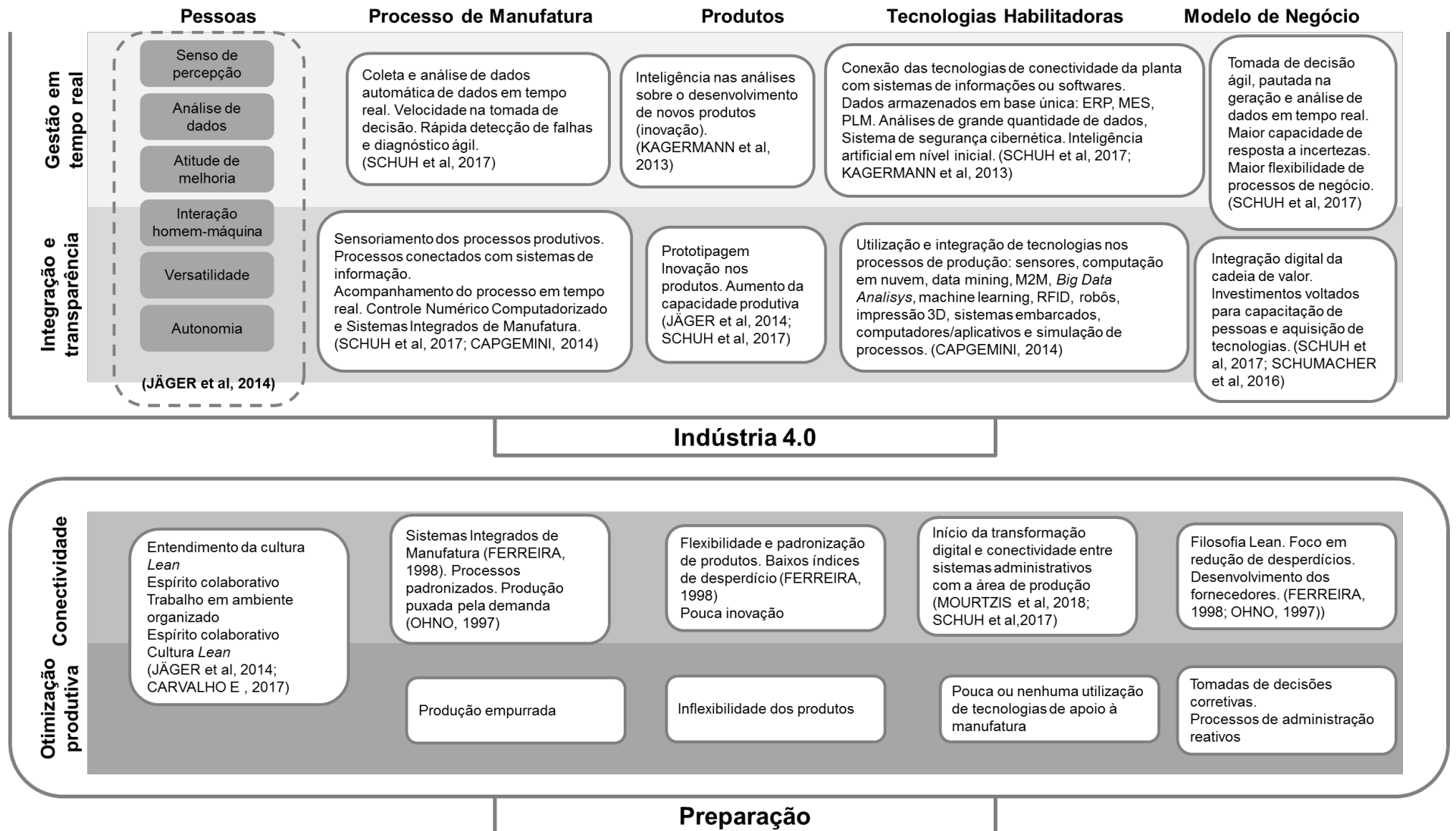


Figura 10 - Atributos do modelo de maturidade para a Indústria 4.0 Fonte: Próprio autor

Apesar de não estarem contemplados na Figura 10, os níveis 4 e 5 também têm seus requisitos dentro dos atributos a serem avaliados no trabalho. Baseado no modelo de negócio do futuro proposto pela *Capgemini Consulting* (2014), foram definidos os atributos necessários para os níveis 4 e 5 do modelo de maturidade proposto.

Se tratando de simulação e previsão, a empresa precisa de profissionais tecnicamente capazes de fazer simulações de processos produtivos, produtos e até mesmo cenários para que a empresa possa tomar decisões pautadas nos resultados dessas ações, aumentando sua capacidade preditiva. Alcançando este nível de maturidade, a empresa poderá validar novos produtos, redesenho de processos e até mesmo de layout sem alterar nada fisicamente ou parar as linhas produtivas. Para tanto, existem requisitos a serem cumpridos:

- Sistemas integrados de manufatura a níveis avançados.
- Sistemas de segurança cibernética.
- Colaboratividade entre todas as áreas da empresa.
- Inteligência na análise de dados.
- Descentralização dos processos da cadeia de valor.
- Processos ágeis: modulares, flexíveis e sem limitações para melhoria.

No último nível de maturidade, a automação deve ser completa e a interação entre empresa e toda sua cadeia de valor deve ser intensa. A inteligência artificial é um fator preponderante nessa fase, para que a empresa possa aos processos da empresa, não apenas ao processo de manufatura, mas todos os que estão vislumbrados na cadeia de valor do negócio. Por meio da IA, é possível tratar as informações da melhor maneira possível, somada às tecnologias e sistemas já empregados na empresa, a exemplo do *Big Data Analysis*, *Deep Learning*, ERP, dentre outros. A informação é o principal fator de implementação da Indústria 4.0 (Elkaseer et al., 2018), portanto, em nível de automação elevado, a empresa precisa se especializar ao máximo para otimizar as análises e tratativas de suas informações.

Manufatura aditiva também é um atributo importante para avanço na maturidade quanto Indústria 4.0 e os níveis de customização de produtos devem ser extremamente elevados. No patamar da automação industrial, clientes poderão

enviar projetos de produtos a serem manufaturados em CAD, e os sistemas recebem e leem o projeto e lançam direto para a manufatura e entrega.

Dado o modelo de maturidade e o foco no trabalho na gestão da operação em um contexto de Indústria 4.0, o trabalho prossegue com a avaliação de maturidade feita a partir de um questionário aplicado na empresa e o mapeamento do fluxo de valor de determinado processo de manufatura da empresa. Dessa forma, será possível identificar a relação entre as informações que são geradas, coletadas e transmitidas e os processos da empresa e responder a seguinte pergunta: Como a Indústria 4.0 irá auxiliar a empresa a preencher os gaps de informação de seu negócio para otimizar o gerenciamento de suas operações?

A partir deste questionário, será feito um diagnóstico da situação atual da empresa para que seja possível desenhar o *roadmap* das ações a serem tomadas para que a empresa possa evoluir no cenário da Indústria 4.0 e analisar a viabilidade dessas ações.

3.1.1 Avaliação da Maturidade Industrial

Dados os atributos para a análise de maturidade industrial das empresas, elaborou-se um questionário com base nas cinco (5) dimensões do modelo adaptado para avaliar a realidade destas unidades de análise.

O questionário de maturidade elaborado para o estudo de caso contém 29 questões, divididas em seis seções, sendo uma delas de identificação da empresa e as cinco demais referentes às dimensões propostas para o modelo de maturidade do tópico 3.1 desta pesquisa: pessoas, processos de manufatura, produtos, tecnologias habilitadoras e modelo de negócio. Os Apêndice A e Apêndice B deste documento dispõem as questões e respostas dos questionários dos casos que serão apresentados no Capítulo 4.

No que tange a dimensão de pessoas, o questionário foi moldado para avaliar a percepção da empresa quanto às competências importantes do profissional no contexto de Indústria 4.0 e mapear a realidade da qualificação, autonomia e boas-práticas das pessoas que trabalham na área de produção/transformação da fábrica.

A sessão de avaliação da dimensão de processo e manufatura foi mais detalhada, buscando-se evidências de diversos atributos que influenciam o fluxo de trabalho da área de produção da fábrica. Buscou-se avaliar a idade dos equipamentos, os tipos

de manutenção praticados, as ferramentas de risco e qualidade aplicadas, os sistemas utilizados para a gestão de operações, as ferramentas de otimização de processos e, claro, a maneira como é feita o cálculo de produtividade da empresa. Devido à esta análise mais focada no processo de produção/transformação da fábrica, a dimensão de produtos no questionário foi reduzida a perguntas simples para entender a capacidade da empresa de produzir uma grande variedade de produtos e implementar novas ideias.

Para a avaliação, buscou-se coletar as evidências de tecnologias avançadas que dão suporte ao processo de manufatura. Por fim, o modelo de negócio da empresa é avaliado a partir da identificação de estratégias que vem sendo planejadas, implementadas e executadas com a finalidade de posicionar a empresa no contexto da manufatura avançada e identificar os principais fatores que influenciam o processo de tomada de decisão da fábrica.

3.1.1.1 Mensuração da Maturidade Industrial

A partir da coleta de dados por meio do questionário de maturidade elaborado, faz-se necessário mensurar o índice de maturidade levando em consideração as cinco dimensões escolhidas para o modelo visando o posicionamento da empresa em um dos seis níveis de maturidades apresentados na Figura 9. Esta posição da unidade de análise na rampa de maturidade desta pesquisa é muito influenciada pela pontuação da empresa na dimensão processos de manufatura, uma vez que o foco do trabalho está na gestão operacional.

Desta forma, criou-se uma ferramenta em planilha Excel para pontuar cada uma das dimensões conforme as respostas coletadas no questionário. A planilha Excel elaborada para a mensuração da maturidade segue apresentada no Apêndice C desta pesquisa.

A pontuação se deu por meio das principais evidências coletadas para cada uma das dimensões. Na dimensão de pessoas, as perguntas foram organizadas para avaliar a qualificação dos funcionários, a percepção da empresa quanto às habilidades mais importantes para seus funcionários, a autonomia dos funcionários e a quantidade de chefes de processos e, por fim, o envolvimento dos funcionários nas práticas de qualidade.

No que tange a dimensão de processos de manufatura, foram avaliados aspectos como a idade dos equipamentos da fábrica, os tipos de manutenção realizados ao longo do processo produtivo, os indicadores coletados pela empresa, as tecnologias de informação e comunicação utilizadas no suporte aos processos de manufatura e a gestão de riscos.

Por fim, coletaram-se evidências das dimensões de produtos, tecnologias e modelo de negócio. Na primeira, buscou-se avaliar como a empresa trabalha com implementação de novas ideias em seus processos e a flexibilidade de sua produção. A segunda, foi avaliada a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 no apoio à manufatura. Quanto ao modelo de negócio, foram coletadas evidências para avaliar se empresa tem estratégias de implantação de conceitos da Indústria 4.0 e quais os fatores que mais influenciam a tomada de decisão da empresa na gestão de suas operações.

Para a pontuação das respostas, foi utilizada uma a escala de zero (0) até cinco (5) pontos, onde 0 representa nenhum tipo de evidência de que a empresa aplica conceitos de Indústria 4.0 e a pontuação 5 representa o cenário ideal de Indústria 4.0, onde a empresa apresenta evidências de que atende os requisitos definidos na proposta de adaptação do modelo de maturidade industrial.

O próximo capítulo apresenta os casos da pesquisa conduzidos, principalmente, pela adaptação do modelo de maturidade e, por fim, apresenta seus resultados.

4 CAPÍTULO 4: ESTUDO DE CASO

Este capítulo visa apresentar o estudo de caso planejado e realizado para conclusão e atingimento dos objetivos propostos pela pesquisa. Portanto, serão apresenta-se o modelo de maturidade proposto para a pesquisa, o resultado das avaliações de maturidade aplicadas *in loco* e à distância e a descrição das unidades de análise envolvidas na pesquisa.

4.1 PLANEJAMENTO DO ESTUDO DE CASO

O planejamento do estudo de caso se faz importante para garantir uma boa análise interpretativa dos dados coletados ao longo da pesquisa.

Yin (2001) ressalta a importância da qualidade de um estudo de caso cronograma e planejamento das atividades a serem realizadas para o desenvolvimento da pesquisa. Portanto, devido à preocupação com a confiabilidade da pesquisa preparou-se um protocolo de coleta de dados por meio de observações realizadas *in loco*, entrevistas para mapeamento dos processos produtivos e um questionário de avaliação de maturidade industrial.

Dadas as formas e coleta de dados, foram escolhidas as unidades de análise do estudo de caso. Logo, selecionou-se duas empresas localizadas em diferentes polos industriais que cumprissem com o requisito de já ter passado por algum tipo de intervenção em manufatura enxuta ou já tivesse uma cultura *Lean* disseminada em seus processos operacionais.

A primeira empresa entrevistada está localizada na região Sudeste do Brasil e atua no setor metal mecânico que, recentemente, foi atendida pelo programa Brasil Mais Produtivo, um projeto do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial em parceria com o governo do Brasil com a intenção de proporcionar o aumento da produtividade da indústria brasileira por meio de intervenções em *Lean manufacturing*. Em seguida, selecionou-se uma empresa do setor de embalagens localizada na região centro-oeste do Brasil que já tem uma cultura *Lean* bem difundida.

4.2 CONDUÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A fim de se aplicar o modelo de maturidade proposto no planejamento do estudo de caso, foram selecionadas duas empresas para a realização da análise de maturidade. A análise foi feita por meio da aplicação de um questionário para coletar as evidências

de cada um dos atributos apresentados na Figura 13. De forma complementar à aplicação do questionário, fez-se o mapeamento do fluxo de valor do estado atual de ambas as empresas, visando obter maior entendimento dos processos industriais e realizar uma análise mais aprofundada sobre a gestão de operações exercida em ambas as empresas. A visita foi realizada nas empresas Máquinas S.A. e Embalagens LTDA localizadas, respectivamente, na região sudeste e centro-oeste do Brasil. A primeira do setor industrial metal mecânico e a segunda do setor de embalagens.

Além do mapeamento do fluxo de valor do estado atual de ambas as unidades de análise, fez-se a análise de maturidade industrial por meio de entrevistas e da aplicação de um questionário desenvolvido com base nos conceitos levantados no Capítulo 2 da presente pesquisa.

4.3 ESTUDO DE CASO DA MÁQUINAS S.A.

A Máquinas S.A. é uma empresa de médio porte do setor metal mecânico especializada em caldeiraria. A empresa conta com quase 500 funcionários e passou recentemente por um processo de reorganização produtiva focada em ferramentas de manufatura enxuta. A escolha pela Máquinas S.A. foi diretamente influenciada pelo fato dela ter passado por essa intervenção voltada para a implementação do *Lean Manufacturing* na fábrica, porque o modelo proposto para esta pesquisa parte da premissa de que é necessário se ter um processo produtivo bem organizado para que os conceitos de manufatura avançada possam ser implementados.

Por ser uma fábrica de caldeiraria a empresa tem seus processos produtivos funcionando sob demanda, ou seja, há uma grande diversidade na produção da empresa. Portanto, selecionou-se apenas o principal produto para realizar a análise do processo neste estudo de caso, a máquina x.

A primeira etapa da análise se deu pelo entendimento de todo o processo de produção das máquinas x. Para tanto, fez-se o reconhecimento da linha produtiva e a elaboração e validação do mapeamento do fluxo de valor (MFV) do estado atual deste processo. O MFV da Máquinas S.A. foi feito a partir de informações obtidas por observação direta da produção na fábrica e por meio de entrevistas com os líderes de cada um dos processos do chão de fábrica. O mapeamento realizado segue ilustrado na Figura 11.

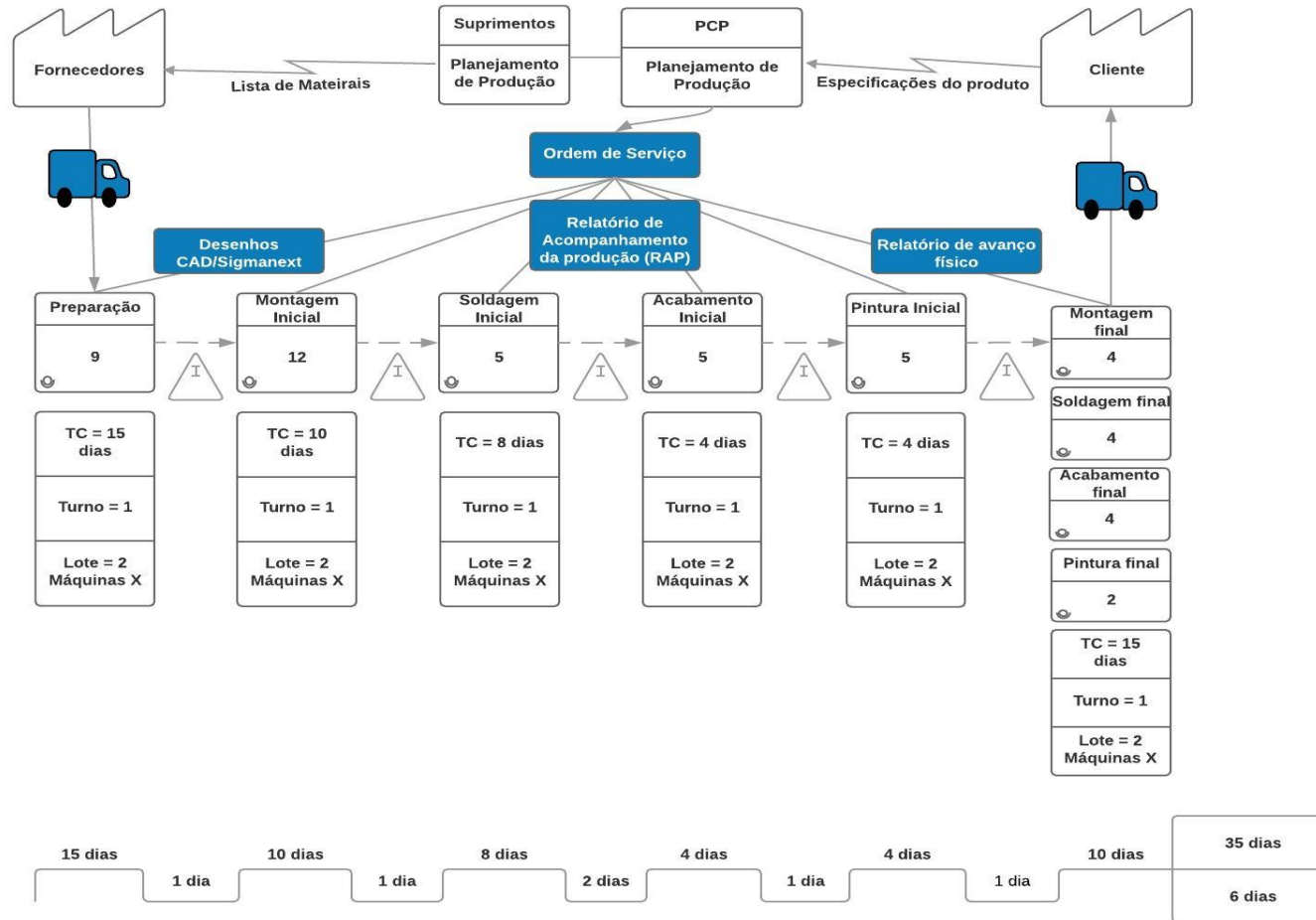


Figura 11 - Mapeamento do fluxo de valor (MFV) da Máquinas S.A. Fonte: Próprio autor

A partir da Figura 11, pode-se entender melhor como é conduzido e gerido o processo produtivo nesta unidade de análise da pesquisa. O mapeamento do estado presente da Máquinas S.A. se deu considerando um lote de produção de dois produtos em um mês de trabalho. Desta forma, o tempo de ciclo do processo de fabricação da máquina x foi determinado considerando o número de peças prontas que satisfaziam este lote.

A produção das máquinas x é de alta complexidade e demanda tempo para ser finalizada, o que justifica o lead time alto de 45 dias. Trata-se de um processo dividido em uma etapa de preparação que envolve processos de corte, usinagem, dobra, traçagem, rebarbamento e furação seguida de quatro macro etapas de montagem, soldagem, acabamento e pintura, sendo que cada uma delas tem seu estágio inicial e final.

Outrossim, os processos de fabricação contemplados no MFV da Figura 11 não necessariamente ocorrem de forma sequencial, ou seja, existe um paralelismo das atividades, principalmente no processamento final da plataforma. Pelo que foi observado na visita *in loco*, a intervenção de manufatura enxuta impactou positivamente a organização do setor de transformação da empresa de modo a manter os níveis de estoque baixos e com pouco tempo de espera, dando maior celeridade para a produção.

Em complemento ao mapeamento do fluxo de valor da Máquinas S.A., o resultado do questionário de maturidade se deu por meio da pontuação das respostas do questionário em uma escala de 0 a 5, onde 0 aponta para uma situação de não cumprimento dos pré-requisitos e 5 se refere ao estágio ideal de manufatura avançada.

A nota da empresa avaliada foi de 2,21 pontos. Em vista disso, o posicionamento da empresa no modelo de maturidade estaria no bloco de preparação, na transição do estágio de organização para o estágio de digitalização do processo de manufatura.

A Figura 12 apresenta o resultado geral de cada uma dessas dimensões a partir das respostas obtidas na avaliação de maturidade.

O fato de haver grande diferença de pontuação entre algumas dimensões justifica o posicionamento da Máquinas S.A. entre os níveis 1 e 2 do modelo de maturidade. Em alguns aspectos a empresa se mostras madura o suficiente para iniciar seu processo de digitalização, porém outros aspectos expões a necessidade da empresa

de evoluir no seu processo de otimização produtiva. A seguir, serão apresentadas as análises de cada uma das dimensões avaliadas na pesquisa.

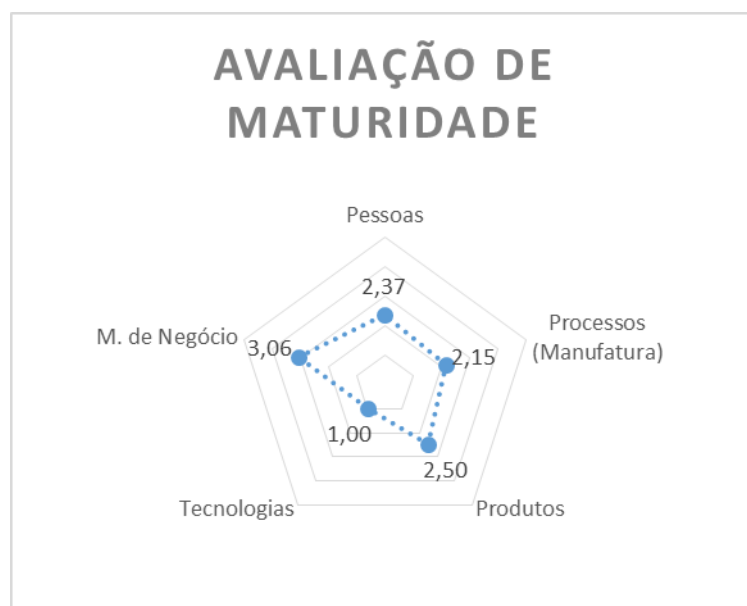


Figura 12 - Avaliação de maturidade da Máquinas S.A. Fonte: Próprio autor

A seguir serão apresentadas as análises específicas sobre cada uma das dimensões avaliadas no modelo de maturidade da pesquisa.

4.3.1 Pessoas

A Máquinas S.A. se mostra consciente com relação às competências necessárias para os profissionais em um cenário de manufatura avançada. A empresa percebe a importância de trabalhar com pessoas abertas à novas ideias, com o espírito colaborativo, capacidade analítica, senso de percepção e profissionais capazes de lidar tecnologias avançadas.

Por outro lado, a empresa conta com profissionais de mão-de-obra mais barata, em suma maioria de nível fundamental e técnico, não há profissional com ensino superior completo na área de produção/transformação. Em vista disso, percebe-se uma necessidade de maior qualificação das pessoas que atuam na área de produção/transformação para que esta empresa esteja pronta para implementar ações focadas em manufatura avançada e conseguir resultados expressivos de melhoria.

Ademais, a avaliação de maturidade aplicada também aponta para um processo de tomada de decisão centralizado naqueles que exercem funções de liderança na

empresa: o diretores e supervisores da fábrica. A autonomia dos técnicos e operários da área de produção/transformação da empresa é dada como média e baixa. Desta forma, supervisão de produção e qualidade são as principais responsáveis pelas ações planejadas para a gestão das operações da fábrica.

4.3.2 Processo de manufatura

A avaliação de maturidade da Máquinas S.A. expõe um processo de produção extremamente preocupado com a qualidade dos produtos que são manufaturados na fábrica. A empresa utiliza diversas ferramentas de qualidade e gestão de riscos para controlar as ações planejadas pela supervisão de produção e qualidade.

Identifica-se também a aplicação de conceitos e ferramentas que garantam a organização e a melhoria contínua dos processos de produção. O trabalho com a filosofia do *Lean Manufacturing* e a ferramenta do ciclo PDCA são evidências que confirmam essa preocupação com a otimização constante do processo de manufatura.

Contudo, o processo de produção da plataforma conta com equipamentos que, em sua maioria, precisam de melhoria. Portanto, frequentemente são realizadas manutenções de cunho corretivo e preventivo para garantir que os equipamentos funcionem sem causar problemas na produção da plataforma. Não há evidências de que a empresa trabalhe com manutenção preditiva.

Ademais, por se tratar uma empresa de caldeiraria, a maioria dos processos de fabricação que envolvem a produção da plataforma são manuais e semi-automatizados, sendo poucos deles completamente automatizados.

Adicionalmente, não se utiliza sensores integrados a sistemas para coleta dados e integração da linha produtiva com sistemas de informação, tampouco sistemas de informação para gestão do ciclo de vida dos produtos (PLM), dos dados dos produtos (PDM), dos recursos da empresa (ERP), da cadeia de suprimento (SCM) e até mesmo da manutenção (CMMS). Os dados de produção são coletados por planilhas Excel e armazenados em um banco de dados interno da empresa.

Este cenário apresentado pela avaliação de maturidade indica uma oportunidade de melhoria por meio da integração dos sistemas de manufatura. A partir daí a empresa poderá iniciar o processo de conectividade do setor produtivo por meio de sensores e outras tecnologias integradoras que permitirão a digitalização da fábrica.

4.3.3 Produtos

A empresa atualmente consegue atender às demandas de variados tipos de produtos advindas dos clientes com suas respectivas especificações, permitindo um bom nível de escalabilidade da produção. A avaliação de maturidade apontou um nível médio de customização da produção, além de ter capacidade para produzir de forma padronizada.

Ademais, a empresa possui algumas rotinas de coleta e análise de ideias para melhoria no processo produtivo e um índice razoável de aplicação destas novas ideias. Nos últimos seis meses, houve a implementação de 6 a 10 novas ideias propostas para melhoria na produção.

4.3.4 Tecnologias habilitadoras

A Máquinas S.A. utiliza tecnologia CNC no processo de corte, na fase de preparação do produto indicada no MFV da Figura 10. Todavia, não há evidências de aplicação de nenhum outro tipo de tecnologia avançada na empresa, como a internet das coisas, impressão 3D, comunicação M2M, *Big Data*, inteligência artificial, dentre outras.

Em vista disso, principal gap entre a realidade da empresa e o cenário ideal para a manufatura avançada está na dimensão de tecnologias habilitadoras.

4.3.5 Modelo de negócio

Em nível estratégico, Máquinas S.A. se mostra preocupada com a quarta revolução industrial uma vez que a avaliação de maturidade aplicada contém evidências de que há ações sendo planejadas e executadas a curto, médio e longo prazo para melhoria do estado presente em relação ao contexto da manufatura avançada.

Todavia, a avaliação também indica um modelo de negócio não muito que não considera o desenvolvimento de novos produtos e a flexibilidade de produção como fatores preponderantes no processo decisório. Tendo em vista que um cenário no qual a Indústria 4.0 pode proporcionar um ambiente cada vez mais inovador e aumentar a competitividade de uma empresa por meio do aumento capacidade de produzir uma maior diversidade de produtos, estes fatores são de extrema importância para a tomada de decisão para qualquer tipo de empresa.

4.4 ESTUDO DE CASO DA EMBALAGENS LTDA

A Embalagens LTDA também é uma empresa de porte médio e tem um trabalho intenso com a manufatura enxuta. Todavia, a empresa não passou por um processo recente de intervenção em *Lean Manufacturing*, mas possui um setor administrativo responsável pela aplicação de ferramentas *Lean* no chão de fábrica. Atualmente, a ferramenta de manutenção produtiva total é o principal foco de trabalho da empresa.

Neste estudo de caso, não foi necessário elaborar o MFV, apenas validá-lo por observação direta, pois a área de manufatura enxuta da Embalagens LTDA forneceu o MFV de sua planta. A seguir, a Figura 13 apresenta o mapeamento do fluxo de valor da Embalagens LTDA.

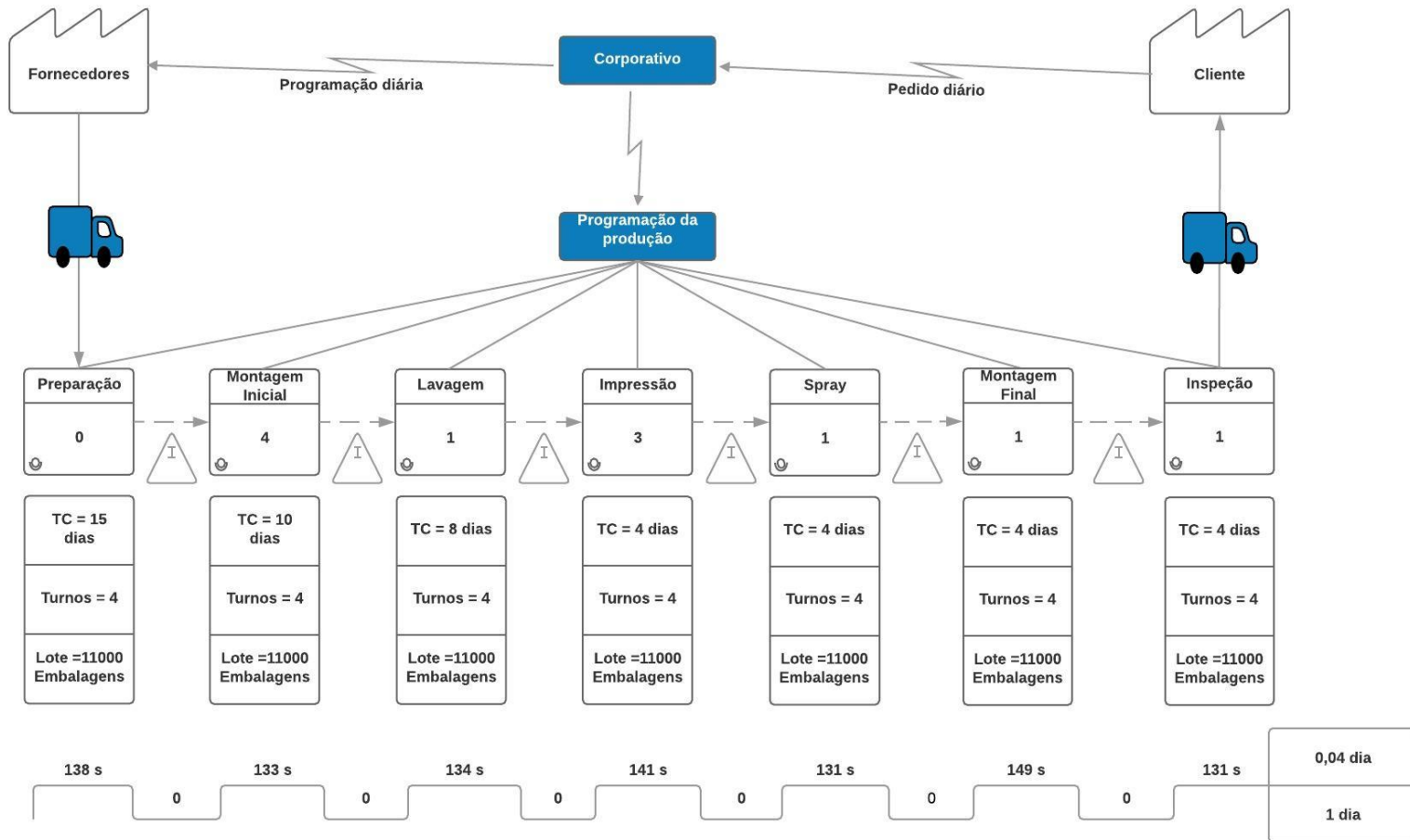


Figura 13- Mapeamento do fluxo de valor (MFV) da Embalagens LTDA. Fonte: Embalagens LTDA

O mapeamento apresentado na Figura 13 foi feito com base em uma demanda de produção de 11000 embalagens produzidas em 1 hora. O processo produtivo observado na empresa é praticamente todo automatizado, portanto as máquinas viabilizam o baixíssimo *lead time* de 0,04 embalagens produzidas em 1 dia. A velocidade da linha produtiva depende da performance da máquina de preparação. Quando os equipamentos estão funcionando em velocidade máxima, a linha de produção conta com pulmões de estocagem que garantem o fluxo contínuo do processo de produção da fábrica.

O caso da Embalagens LTDA é completamente diferente da Máquinas S.A. por se tratar de uma produção seriada e os processos contemplados no mapeamento da Figura 13 ocorrem de forma sequencial. Processos de inspeção são realizados de forma automatizada e de forma manual, por amostragem em todos os 4 turnos de produção do dia.

Conforme adiantado no MFV, a situação a Embalagens LTDA é um contraponto do caso da Máquinas S.A., uma vez que a empresa se apresenta mais madura no contexto de Indústria 4.0. Essa maturidade pode ser percebida na diferença dos resultados apresentados na Figura 14.

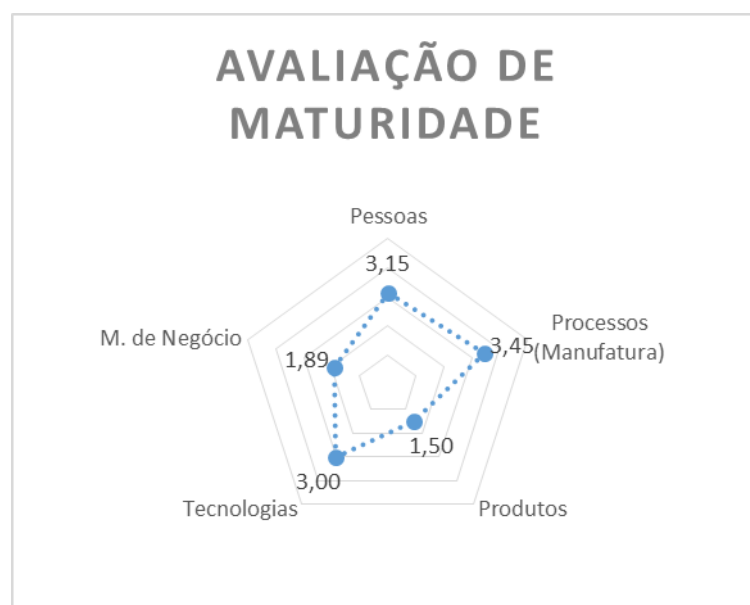


Figura 14- Avaliação de maturidade da Embalagens LTDA. Fonte: Próprio autor

A Embalagens LTDA obteve uma nota média de 2,60 pontos na avaliação de maturidade, porém nota-se que seus processos de manufatura estão com uma

pontuação que ultrapassa essa média com 3,45 pontos. Isso se dá pelo elevado nível de automação da sua planta.

A Embalagens LTDA possui um processo produtivo altamente automatizado e conectado por sensores que geram dados em tempo real para um sistema de gestão que consolida todas as informações de produção de sua fábrica. As máquinas são guiadas por um sistema de controladores lógico-programáveis (PLC – *Programmable Logic Controllers*) e se comunicam longo do processo produtivo, de modo que suas velocidades são ajustadas automaticamente para um fluxo linear de produção do chão de fábrica.

A partir dos dados coletados e enviados para o sistema de gestão da Embalagens LTDA, são elaborados gráficos e indicadores importantes para o controle estatístico do processo produtivo de sua fábrica. O mapa situação atual da empresa também é fornecido, com a disponibilidade das máquinas, os níveis de estoque e indicadores de produtividade, taxa de desperdícios, dentre outros. Além disso, pode-se acessar este sistema a qualquer momento e por qualquer dispositivo digital com acesso à internet, dando total autonomia para tomada de decisão dos funcionários da empresa em tempo real.

A seguir serão apresentadas as análises específicas sobre cada uma das dimensões avaliadas no modelo de maturidade da pesquisa.

4.4.1 Pessoas

Assim como o primeiro caso, a Embalagens LTDA também possui uma boa percepção quanto as competências do profissional do futuro. De acordo com o questionário da maturidade preenchido pela empresa, competências como espírito colaborativo e senso de percepção são mais valorizadas do que a capacidade de análise de dados e interação com tecnologias avançadas, apesar de empresa considera-los importantes.

Devido ao nível de automação mais elevada, a linha de produção da Embalagens LTDA é mais enxuta e conta com profissionais de nível técnico e médio em sua maioria e alguns profissionais de nível fundamental. A linha é supervisionada por engenheiros mecânicos e de produção que se dividem em quatro turnos de trabalho. Em vista disso, percebe-se uma maior qualificação dos funcionários em relação ao caso da Máquinas S.A.

Outrossim, assim como a Empresa X, a avaliação de maturidade aplicada expõe uma autonomia para um processo de tomada de decisão concentrada nas lideranças de gestão e supervisão da fábrica. Ações de planejamento são definidas por essas lideranças e os operadores e técnicos de produção exercem as funções de execução destes planos, pois eles têm pouca autonomia.

4.4.2 Processo de manufatura

Assim como a Máquinas S.A., a Embalagens LTDA se preocupa bastante com a qualidade de sua produção. Não é atoa que existe uma área focada na excelência em operações que trabalha focada na implementação de abordagens *Lean* em toda a área de produção da sua fábrica. Atualmente, há uma grande intensidade de trabalho com a ferramenta de manutenção produtiva total para garantir um fluxo contínuo da produção de embalagens, porém são empregadas outras ferramentas para a gestão de operações da empresa, tais como o ciclo PDCA, o 6 sigma e o controle estatístico de processos. De forma complementar à utilização de ferramentas de manufatura enxuta, a área de produção e transformação da Embalagens LTDA também utiliza ferramentas de gestão de riscos para dar suporte à gestão de suas operações, a exemplo de diagramas de causa e efeito, análise preliminar de riscos e os cinco porquês.

A avaliação feita na empresa também evidencia a utilização de muitos equipamentos velhos na área de produção, o que dá mais ênfase ao trabalho intenso de manutenção da linha produtiva. A Embalagens LTDA realiza os três tipos de manutenção ao longo de sua fábrica: preventiva, preditiva e corretiva.

Outrossim, os processos de produção são automatizados e semi-automatizados em sua maioria. Apenas algumas ações de inspeção ao longo da linha de produção se dão por meio de trabalho manual.

Visto que o funcionamento da fábrica ocorre por meio da automação, a empresa conta com o apoio de sistemas de produção para a gestão de suas operações automatizadas. Sensores foram instalados ao longo de toda a área de produção e controladores ditam o ritmo da linha produtiva, assim a empresa tem seu sistema de aquisição de dados de máquina que fornece informações para o sistema de gestão da produção e a empresa também trabalha com um sistema de gestão da cadeia de suprimentos (SCM).

Os dados gerados por estes sistemas são armazenados em nuvem no banco de dados próprio da empresa, que possui investimentos voltados para a segurança de todas essas informações.

Em vista disso, é possível concluir que a empresa se mostra bem madura quanto ao cenário de manufatura avançada a ponto de implementar tecnologias mais robustas para gestão e autonomia de suas operações. Como os processos estão completamente integrados aos sistemas de gestão, seria possível realizar investimentos em simulação e predição de suas operações. Em entrevista durante a visita *in loco*, os gestores da empresa também se mostraram interessados em implementar inteligência artificial em suas operações e até mesmo realizar investimentos com robótica para uma possível renovação dos equipamentos da linha de produção.

4.4.3 Produtos

A fábrica da Embalagens LTDA funciona por meio de um sistema de produção em massa de um tipo de embalagem. Desta forma, atualmente a empresa não tem uma boa capacidade de customização em sua linha produtiva.

No total, a empresa consegue produzir duas formas diferentes de embalagem, porém o tempo de setup para essa troca na produção é altíssimo. A empresa, todavia, consegue realizar diversas variações na impressão dessas embalagens, portanto o processo de impressão e spray apresentados na Figura 3.3 possuem tempos de setups menores.

Além disso, a implantação de novas ideias coletas pela equipe da fábrica também é avaliada na dimensão de produtos. Notou-se, empresa aplicou poucas ideias da equipe de produção da fábrica, no máximo cinco ideias implementadas nos últimos seis meses de trabalho.

4.4.4 Tecnologias habilitadoras

A Embalagens LTDA possui uma maior maturidade quanto à utilização de tecnologias em sua linha de produção. A empresa utiliza sensores para coleta de dados em tempo real, um sistema com internet das coisas para acompanhamento da performance da linha produtiva, comunicação entre máquinas por meio de controladores lógico-programáveis, um pouco de *Big Data* dada a quantidade de dados coletados e analisados em tempo real, computação em nuvem e aplicativos e computadores.

Em vista disso, a gestão das operações se torna mais dinâmica em toda a cadeia produtiva. As pessoas da área de produção e transformação da empresa têm total domínio do que está acontecendo ao longo de toda a linha produtiva. Portanto, problemas são resolvidos de maneira mais rápida e assertiva e a empresa consegue estar em um processo constante de melhoria pelos dados fornecidos pelos sistemas integrados à linha de produção.

4.4.5 Modelo de negócio

Surpreendentemente, a Embalagens LTDA não obteve uma boa pontuação na avaliação de maturidade no que diz respeito à dimensão de modelo de negócio. Isso se deve pelo fato de que em nível estratégico, a empresa tem ações voltadas para implementações de conceitos de manufatura avançada apenas em longo prazo. A curto e médio prazo, não há evidências de que a empresa irá investir em ações para avanço em sua transformação digital.

Apesar de ter uma fábrica altamente automatizada, o questionário respondido aponta a tecnologia não é um fator preponderante para a tomada de decisão no que tange a área de produção. Os principais fatores que influenciam o processo decisório são os indicadores de desempenho, tais como a produtividade, qualidade, confiabilidade e custo. A ergonomia também é um fator considerado altamente importante nesse processo, o que mostra a preocupação da Empresa com a qualidade de trabalho de seus funcionários.

Outro aspecto de importância na tomada de decisão é a flexibilidade. Como apresentado anteriormente, a fábrica é projetada para a produção em massa de uma forma específica de embalagem e tem problemas com grandes tempos de *setup* em caso de uma troca de produto a ser produzido. Portanto, a flexibilidade tem sido um importante fator para a evolução e competitividade da empresa.

5 CAPÍTULO 5: DISCUSSÕES

A partir dos resultados obtidos nas avaliações de maturidades apresentadas no estudo de caso, faz-se necessário analisar as principais diferenças entre as empresas e seus setores e descrever quais seriam os próximos passos para que as empresas continuem evoluindo rumo a transformação digital.

5.1 SOBRE A MÁQUINAS S.A.

O resultado médio das dimensões na avaliação de maturidade da Máquinas S.A. aponta para um caso no qual a empresa já se encontra pronta para iniciar seu processo de digitalização. Todavia, o fato da análise ter sido complementada por meio de uma observação direta com entrevistas e vivência *in loco* com a realidade das operações mostra que algumas ações de organização produtiva devem ser tomadas antes da empresa se digitalizar. Esta seção irá apresentar os resultados e soluções para o caso da Máquinas S.A.

5.1.1 Sobre o setor metal mecânico

Assim como outras empresas do setor metal mecânico, a Máquinas S.A. possui uma demanda extremamente variável. A depender do cliente, os produtos podem passar por processos de produção muito diferentes uns dos outros e isso dificulta o fluxo de trabalho.

Outrossim, este setor industrial trabalha muito sob demanda e focado na entrega de seus produtos nos prazos estabelecidos, pois os prazos são preponderantes para o faturamento da empresa. Portanto, dependendo da demanda de produto que chega para a empresa, deve-se priorizar a produção de determinado produto.

No estudo realizado na Máquinas S.A., tal priorização acarreta em paradas muito longas nas produções da fábrica, prejudicando o fluxo produtivo da área de transformação da empresa. Estas paradas acontecem pelo fato de que, apesar dos processos de produção serem diferentes, as atividades ao longo dos processos podem coincidir-se.

A produtividade da empresa, por conseguinte, está diretamente relacionada ao seu faturamento. A Máquinas S.A. realiza o cálculo da produtividade pela razão entre o faturamento da demanda de produção pela produção real ao longo do mês, ou seja, o fator máximo de produção se dá no momento em que todas as demandas foram

cumpridas no prazo determinado e isto não impactou no faturamento previsto pela área comercial da empresa.

Tal cenário, expõe a necessidade de se trabalhar de maneira mais ágil e enxuta para que a área de produção e transformação da empresa seja capaz de atender aos diferentes tipos de demandas advindas de seus clientes sem prejudicar o fluxo de produção do produto que foi analisado ao longo da pesquisa.

5.1.2 Sobre a manufatura enxuta

Recentemente, houve uma intervenção *Lean* na empresa por meio do programa Brasil Mais Produtivo, uma iniciativa do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) em parceria com o Ministério (MDIC) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). Fez-se, portanto, um *follow-up* das ações implementadas por meio desta intervenção.

O foco da intervenção se deu no processo de montagem. De acordo com os dados fornecidos, a consultoria em *Lean Manufacturing* proporcionou um ganho de 35,6% de produtividade a partir da redução das atividades que não agregavam valor ao processo de montagem. Além disso, também se obteve ganho por meio da aplicação da ferramenta 5S. Atualmente, os processos são visivelmente mais organizados e seus estoques foram consideravelmente reduzidos, bem como os índices de movimentação dos funcionários ao longo do processo produtivo, reduzido em 25,6% conforme os dados fornecidos pela empresa. O bom resultado obtido pela ferramenta 5S no processo de montagem se estendeu aos processos de preparação, soldagem e acabamento.

Apesar dos resultados terem sido satisfatórios aos olhos da administração da empresa, não foi dada a continuidade no projeto de manufatura enxuta devido às diversas outras prioridades da fábrica. Portanto, percebe-se que algumas práticas foram se perdendo após a intervenção, ou seja, a cultura *Lean* não foi implementada e disseminada em toda a área produtiva. Este fator tem um impacto muito forte no que diz respeito ao posicionamento da empresa no primeiro nível da rampa de maturidade apresentada na Figura 9.

5.1.3 Sobre os sistemas de gestão e tecnologias de auxílio à manufatura

A partir do que foi apresentado no estudo de caso, entende-se que Máquinas S.A. peca na forma de gerir das operações uma vez que não há um trabalho auxiliado por

nenhum tipo de sistema de gestão da manufatura. Os dados do chão-de-fábrica, em sua maioria, são coletados de forma manual e posteriormente organizados em planilhas Excel para serem tratados e analisados.

Outrossim, a Máquinas S.A. não trabalha na utilização de tecnologias para auxílio na manufatura, apesar da complexidade de seus processos produtivos. Atualmente, apenas a atividade de corte é automatizada com tecnologia de comando numérico computadorizado (CNC), no setor de preparação da área produtiva da fábrica.

Em vista da automatização presente apenas em no processo de corte, o alto grau de trabalho manual dos outros setores da área de produção não acompanha o ritmo de produção do processo de preparação. Portanto, percebe-se que a capacidade produtiva da máquina com tecnologia CNC não é totalmente aproveitada.

5.1.4 Sobre as soluções em manufatura avançada propostas para a Máquinas S.A.

Conforme apresentado no referencial teórico desta pesquisa, a Indústria 4.0 não se limita às aplicações de tecnologias avançadas na linha produtiva, mas sim ao modo com que essas tecnologias podem auxiliar a empresa no processo de melhoria contínua. Portanto, torna-se necessário otimizar os processos fabris para que a aplicação de tecnologias avançadas surta o efeito desejado para um cenário de Indústria 4.0, e esta é a situação em que a Máquinas S.A. se encontra atualmente.

Dados os pontos apresentados nos tópicos anteriores, conclui-se que a empresa precisa investir na continuidade da implementação da cultura *Lean* para a otimização de seus processos produtivos antes de passar pelo processo de transformação digital.

De acordo com as avaliações realizadas, investimentos em rearranjo físico, troca rápida de ferramentas, manutenção produtiva total e controle estatístico de processos trariam bons resultados para a empresa. Reconfigurações no layout fabril da Máquinas S.A. poderia acarretar em melhoria na movimentação de funcionários e no transporte de peça, tornando as atividades mais fluidas ao longo da área de produção e a troca rápida de ferramenta daria a empresa uma maior agilidade na fabricação dos diversos tipos de produtos demandados por seus clientes.

A manutenção produtiva total e o controle estatístico dos processos são ferramentas para otimização do desempenho de seus processos, pois ambas as ferramentas focam na realização de processos sem defeitos e desperdícios. A TPM proporciona

a manutenção programada das máquinas de forma a se diminuir os riscos de quebra, paradas e defeitos durante a produção, aumentando a produtividade do operário e reduzindo os custos de produção (SUZUKI, 2017). O controle estatístico de processos permite à empresa gerir seus processos de forma mais segura e atacar os problemas da produção mais assertivamente.

Em paralelo à essas ações, a aquisição de um sistema de gerenciamento de recursos para a produção é extremamente necessária para o acompanhamento mais assertivo da realidade de seus processos fabris. A complexidade destes processos dificulta a gestão por meio de planilhas Excel, como é a prática atual da empresa. A aquisição de sistemas capazes de integrar a área produtiva da empresa com as áreas de planejamento e administração trará resultados expressivos para a Máquinas S.A..

Portanto, pode-se dizer que a proposta de crescimento para a Máquinas S.A. se dá por meio da implantação de Sistemas Integrados de Manufatura, pelos quais a empresa pode trabalhar de forma integrada com seus processos em gestão da qualidade, manutenção, produção (FERREIRA, 1998).

Feitas essas mudanças, a empresa poderá iniciar seu processo de digitalização por meio da aquisição de sensores para a coleta de dados e de sistemas que integrem toda a cadeia produtiva da empresa.

5.2 SOBRE A EMBALAGENS LTDA

O resultado da Embalagens LTDA, apesar de próximo ao resultado da Máquinas S.A., apresenta diferenças substanciais para a análise a ser feita nesta seção. A média parecida esconde as grandes diferenças na pontuação das dimensões de tecnologias habilitadoras e processos de manufatura.

5.2.1 Sobre o processo de manufatura

A Embalagens LTDA trabalha com uma linha de produção dedicada à apenas um tipo de produto, o que inviabiliza um dos principais ganhos com aplicações da Indústria 4.0, a flexibilidade de produção. A fábrica foi projetada para um processo de produção seriada e executa muito bem este processo por meio da assistência de tecnologias da informação. Portanto, é notável que a empresa acompanhou bem a segunda e terceira revolução industrial (FERREIRA, 1998).

O setor de produção e transformação da empresa também não está muito atrás da realidade de Indústria 4.0, uma vez que conta com sistemas capazes de coletar informações e analisar as partes críticas do processo produtivo em uma escala de tempo real. Tecnologias ligadas à internet das coisas (IoT), aquisição e mineração de dados e comunicação M2M são rotineiramente utilizadas na produção de seus produtos.

Por outro lado, um gargalo crucial para a empresa atualmente se dá no fornecimento da matéria-prima. O fluxo contínuo de produção depende de uma matéria-prima de boa qualidade para o atingimento das metas diárias de produção. Durante a visita feita na empresa, a produção estava fluindo num ritmo abaixo do desejado devido à baixa qualidade na matéria-prima recebida e este gargalo ficou evidente.

5.2.2 Sobre as soluções em manufatura avançada propostas para a Embalagens LTDA

Ao contrário da Máquinas S.A., o processo fabril da Embalagens LTDA está ligado à uma cultura muito forte em *Lean Manufacturing*. Processos são constantemente revisados, a empresa trabalha com manutenção planejada por meio da prática da TPM, há o mapeamento do fluxo de valor em estado atual e futuro, visando as melhorias desejadas, dentre outras ferramentas.

Todavia, ainda há oportunidades de melhoria para seus otimizar a produção da fábrica, principalmente no que diz respeito ao tempo de setup. A fábrica da Embalagens LTDA possui demandas de apenas de dois tipos de formatos para embalagens, porém há uma grande dificuldade na troca da produção dessas embalagens e o desperdício com prolongados tempos de setup são críticos. Logo, um trabalho intenso com a troca rápida de ferramenta também é uma solução em abordagens *Lean* para a empresa.

A inflexibilidade na produção apresenta um risco para a empresa, pois está atende um mercado que está suscetível à constantes inovações e mudanças no formato de suas embalagens podem acarretar em altos investimentos de reconfiguração de sua fábrica.

Conforme apresentado no referencial teórico desta pesquisa, a Indústria 4.0 não se limita às aplicações de tecnologias avançadas, é preciso ter métodos para acompanhamento da evolução digital e melhoria contínua da empresa

(KAGERMANN et al, 2013). A Embalagens LTDA tem suas tecnologias aplicadas ao longo da linha produtiva e integradas à um sistema capaz de gerar informações relevantes para a gestão da linha. Um próximo passo para a evolução dessas práticas seria a adoção de inteligência artificial por meio do trabalho com *machine learning*.

A empresa já trabalha com uma grande quantidade de dados e realiza a mineração destes dados para gerar *insights*, ou ideias que auxiliem o processo decisório em tempo real. Portanto, a empresa tem a possibilidade de incluir de *machine learning* para obter um melhor entendimento da estrutura dos dados gerados e ganhar robustez na análise desses dados em seus sistemas. Para a realidade da empresa, a melhor prática de *machine learning* seria a de algoritmos de atividade supervisionada, de modo que estes possam identificar as causas de defeitos em seu processo produtivo e antecipar possíveis falhas críticas na linha produtiva, dentre outras ações.

Além da capacidade de armazenar e analisar uma grande quantidade de dados, a empresa precisa constituir um ecossistema de colaboração para com seus clientes, parceiros e fornecedores de modo que problema de fornecimento dos insumos para a produção possa ser sanado. Aconselha-se que a Embalagens LTDA implemente programas de desenvolvimento de seus fornecedores, porque estes precisam ser encorajados a entregar os insumos de produção no tempo e qualidade desejável.

5.3 Considerações finais

A partir da problemática dos baixos índices de produtividade da indústria brasileira, a digitalização de empresas se mostrava como uma oportunidade de melhoria em eficiência produtiva. Dada essa justificativa para o trabalho, fez-se uma análise acerca da maturidade industrial duas unidades industriais no Brasil para identificar se as empresas estão ou não preparadas para a aplicação de conceitos de manufatura avançada em sua realidade.

Para tanto, desenvolveu-se um modelo de maturidade para avaliar as indústrias num contexto de manufatura avançada. A avaliação realizada por meio da aplicação do questionário elaborado para a pesquisa forneceu o panorama geral da empresa baseada nas dimensões de pessoas, processos de manufatura, produtos, tecnologias avançadas e modelo de negócio. O foco da análise, porém, se deu na dimensão de

processos de manufatura, uma vez que a digitalização da uma empresa terá o maior impacto na sua área de produção e transformação.

Portanto, além da aplicação do questionário de avaliação da maturidade, recomenda-se a realização de entrevistas com os responsáveis pelos processos produtivos para se obter melhor entendimento da realidade do chão de fábrica das empresas avaliadas frente ao cenário de manufatura avançada.

Em vista disso, a pesquisa buscou mapear as principais soluções de sistemas de gestão e de manufatura utilizados no cenário da Indústria 4.0 e a aplicação de tecnologias avançadas integradas a estes sistemas. A partir de então, identificou-se a importância de trabalhar com sistemas de manufatura enxuta integrados aos sistemas de gestão da informação para explorar as principais vantagens da Indústria 4.0. Isso se dá pela principal característica da quarta revolução industrial, que é a capacidade de uma empresa administrar a crescente disponibilidade de dados em seu favor para gerar vantagem competitiva.

O *Lean Manufacturing* somado às tecnologias de informação e comunicação tem papel fundamental para os ganhos de produtividade na quarta revolução industrial. Em ambos os casos, pode-se afirmar que o sucesso na adoção de práticas de digitalização está diretamente ligado ao processo de otimização produtiva.

Por conseguinte, pode-se avaliar a abordagem proposta pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial para aplicação de sensores ligados à sistemas de coleta e o tratamento de dados em tempo real para alavancar a produtividade das indústrias brasileiras e inseri-las no contexto de manufatura avançada.

A proposta apresentada pelo SENAI consiste na implantação de um sistema MES em diferentes empresas em diversos setores do Brasil. Porém, a partir do estudo de caso realizado, faz-se importante a realização de análises de maturidade para se identificar se a empresa realmente está preparada para esse tipo de atendimento uma vez que a adoção dessas tecnologias e sistemas dependem, primeiramente, da organização e otimização dos processos fabris para gerar os resultados desejados.

5.4 Sobre trabalhos futuros

Para que se possa analisar a situação atual da indústria brasileira mais a fundo, há a necessidade de se estender a aplicação do modelo de maturidade à outros setores industriais brasileiros.

Dada a realidade da Máquinas S.A., identifica-se a unidade de análise do estudo de caso como um prospecto de ampliação das abordagens *Lean*. Portanto, a realidade da empresa analisada é uma oportunidade para trabalhos de aplicação das soluções propostas no Capítulo 4 desta pesquisa. Conclui-se que as aplicações das abordagens *Lean* devem ser fomentadas para que as indústrias sejam preparadas para o processo de transformação digital.

Além da manufatura enxuta, ao longo do desenvolvimento da pesquisa e das visitas *in loco* realizadas foi possível identificar a aplicação de ferramentas e atividades ligadas às diferentes áreas da engenharia de produção. As áreas que mais apresentavam oportunidades dentro das empresas eram de planejamento e controle da produção, desenvolvimento de produto e sistemas de informação em engenharia.

Outrossim, como forma de ampliação desta pesquisa, é importante estudar a infraestrutura de suporte à produção de indústrias brasileiras oferecida pelo governo brasileiro. Este estudo mostra-se importante para que a transformação digital possa ser algo atrativo para o setor privado brasileiro e gere evolução econômica.

Pode-se justificar grandes investimentos por meio da análise da infraestrutura oferecida para as indústrias brasileiras, pois serão levantadas políticas de incentivo ao aumento da produtividade e da capacidade produtiva. O papel do governo nesta nova revolução industrial é de fornecer incentivos ao crescimento industrial por meio da digitalização e aumento de produtividade. Desta forma, o país poderá caminhar para a transformação digital da indústria e sua inserção no contexto de manufatura avançada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The internet of things: A survey. *Computer networks*, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BAENA, Felipe et al Learning Factory: The Path to Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 73-80, 2017.

BAUER, Wilhelm et al Transforming to a Hyper-connected Society and Economy—Towards an “Industry 4.0”. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 417-424, 2015.

BLOEM, Jaap et al The Fourth Industrial Revolution. Things Tighten, 2014.

CAPGEMINI CONSULTING. Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View. Capgemini, 2014. Disponível em: www.capgeminiconsulting.com. Acesso em: 10 ago 2016.

CARVALHO, Luciana; AVELLAR, Ana Paula Macedo de. Innovation and productivity: empirical evidence for Brazilian industrial enterprises. *Revista de Administração (São Paulo)*, v. 52, n. 2, p. 134-147, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Indicadores de Competitividade da Indústria. Disponível em: < www.portaldaindustria.com.br >. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Produtividade brasileira é a que menos cresce em relação a 11 países. Disponível em: < <http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2015/02/produktividade-brasileira-e-a-que-menos-cresce-em-relacao-a-11-paises/> >. 2015.

CIRERA, Xavier; MALONEY, William F. The innovation paradox: Developing-country capabilities and the unrealized promise of technological catch-up. The World Bank, 2017.

D'ANTONIO, Gianluca; BEDOLLA, Joel Sauza; CHIABERT, Paolo. A Novel Methodology to Integrate Manufacturing Execution Systems with the Lean Manufacturing Approach. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 2243-2251, 2017.

DAL, Bulent; TUGWELL, Phil; GREATBANKS, Richard. Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement—A practical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 20, n. 12, p. 1488-1502, 2000.

DE NEGRI, Fernanda; CAVALCANTE, Luiz Ricardo. Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes. Brasília: Ipea, v. 1, 2014.

DESVAUX, G. et al. The Future of Japan: Reigniting Productivity and Growth. San Francisco: McKinsey Global Institute, 2015.

ESPINEL, Victoria A. 2011 US Intellectual Property Enforcement Coordinator Annual Report on Intellectual Property Enforcement. 2012.

FERREIRA, João Carlos E. Sistemas Integrados de Manufatura. **Apostila do Curso de Graduação, UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica**, 1998.

GEHRKE, L. et al A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective. VDI/ASME Industry 4.0 White Paper, p. 1-28, 2015.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Computers in Industry, v. 89, p. 23-34, 2017.

HOUSE, White. Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing. Executive Office of the President President's Council of Advisors on Science and Technology, Washington, July. www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_amp_steering_committee_report_final_july_17_2012.pdf, 2012.

JÄGER, Jens et al Advanced Complexity Management Strategic Recommendations of Handling the "Industrie 4.0" Complexity for Small and Medium Enterprises. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 116-121, 2016.

JÄGER, A. et al. Implications for Learning Factories from Industry 4.0-Challenges for the human factor in future production scenarios. In: Proceedings of 4th Conference on Learning Factories, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 2014.

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

LEITÃO, Paulo; BARBOSA, José. Dynamic Switching Mechanism to Support Self-organization in ADACOR Holonic Control System. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 31, p. 161-166, 2016.

LEITÃO, Paulo et al Intelligent products: The grace experience. Control Engineering Practice, v. 42, p. 95-105, 2015.

LICHTBLAU, Karl et al. IMPULS-Industrie 4.0-Readiness. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln. Disponível em: <https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/Industrie%204.0%20Readiness%20Study%20English.pdf/f6de92c1-74ed-4790-b6a4-74b30b1e83f0>. 2015.

MCAFEE, Andrew et al Big Data: the management revolution. Harvard business review, v. 90, n. 10, p. 60-68, 2012.

MCKINSEY. Industry 4.0 at McKinsey's model factories: Get ready for the disruptive wave. Disponível em: https://capability-center.mckinsey.com/files/mccn/2017-03/digital_4.0_model_factories_brochure_2.pdf. 2016.

MCKINSEY&COMPANY. Manufacturing's next act. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>>. 2015.

MDIC e MCTI. Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br>>. 2016.

MESSA, Alexandre. Indicadores de produtividade: uma breve revisão dos principais métodos de cálculo. 2013.

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

MOURTZIS, Dimitris; MILAS, Nikolaos; VLACHOU, Aikaterini. An Internet of Things-Based Monitoring System for Shop-Floor Control. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, v. 18, n. 2, p. 021005, 2018.

PISCHING, Marcos A. et al. ARQUITETURA PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS APLICADOS NA INDÚSTRIA 4.0.

RAJKUMAR, Ragunathan Raj et al. Cyber-physical systems: the next computing revolution. In: *Proceedings of the 47th Design Automation Conference*. ACM, 2010. p. 731-736.

ROJAS, Rafael A. et al. Enabling Connectivity of Cyber-physical Production Systems: A Conceptual Framework. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 822-829, 2017.

SCHUH, G. et al. 10.6 Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems. 2013.

SCHUH, Günther et al. Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 19, p. 51-56, 2014.

SCHUH, Günther et al. Industrie 4.0 Maturity Index. *Managing the Digital Transformation of Companies*. Munich: Herbert Utz, 2017.

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161-166, 2016.

SUZUKI, Tokutaro. Overview of TPM in process industries. In: *TPM in process industries*. Routledge, 2017. p. 19-38.

TANTIK, Erdal; ANDERL, Reiner. Potentials of the Asset Administration Shell of Industrie 4.0 for Service-Oriented Business Models. **Procedia CIRP**, v. 64, p. 363-368, 2017.

TORO, Carlos; BARANDIARAN, Iñigo; POSADA, Jorge. A perspective on Knowledge Based and Intelligent systems implementation in Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 362-370, 2015.

TECHNOLOGY STRATEGY BOARD. A landscape for the future of high value manufacturing in the UK: A study conducted for the Technology Strategy Board. Disponível em: < https://hvm.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2015/08/tsb_ifm_highvaluemanufacturingt12_009_final.pdf >. 2012.

THE CONFERENCE BOARD TOTAL ECONOMY DATABASE. Total Economy Database™ - Key Findings. Disponível em: < www.conference-board.org >. 2015.

OHNO, Taiichi. O sistema Toyota de produção além da produção. Bookman, 1997.

OUSSOUS, Ahmed et al Big Data Technologies: A Survey. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2017.

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

WORLD ECONOMIC FORUM DELOITTE TOUCHE TOHMATSU (FIRM). Manufacturing for growth: strategies for driving growth and employment.

WORLD ECONOMIC REPORT. Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation. Disponível em: < http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf >. 2017.

WÜBBEKE, Jost; CONRAD, Björn. 'Industrie 4.0': Will German Technology Help China Catch Up with the West?. **China Monitor**, v. 23, p. 1-10, 2015.

XIA, Feng et al Internet of things. International Journal of Communication Systems, v. 25, n. 9, p. 1101, 2012.

YE, S. X.; QIU, Robin G. An architecture of configurable equipment connectivity in a future manufacturing information system. In: Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2003. Proceedings. 2003 IEEE International Symposium on. IEEE, 2003. p. 1144-1149.

YIN, Robert K. Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos. Bookman editora, 2015.

ZARTE, Maximilian et al. Building an Industry 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shop floor and IT levels of an enterprise. In: Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE. IEEE, 2016. p. 6590-6595.

ZEZULKA, F. et al. Industry 4.0—An Introduction in the phenomenon. IFAC-PapersOnLine, v. 49, n. 25, p. 8-12, 2016.

7 APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE MATURIDADE INDUSTRIAL: MÁQUINAS S.A.

Em qual região a empresa está localizada?
Sudeste
Qual o porte de sua empresa?
Médio: de 101 a 500 funcionários
Qual o setor da empresa?
Metal mecânico
Quantos engenheiros há na área de produção/transformação da empresa?
0
Qual a formação dos engenheiros da empresa?
Não se aplica
Quantos funcionários de nível técnico/médio há na área de produção/transformação da empresa?
10
Quantos funcionários de nível fundamental há na área de produção/transformação da empresa?
43
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa?
Aberto à novas ideias – Muito importante Espírito Colaborativo – Muito importante Senso de Percepção – Importante Conhecimento em TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) – Pouco importante Capacidade de análise de dados – Importante Interação com tecnologias avançadas – Importante
Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa.
Diretor – Autonomia total Gestor de Fábrica – Autonomia total Supervisor de produção – Autonomia total Supervisor de qualidade – Autonomia total Técnico de produção – Média autonomia Operadores – Pouca autonomia
Quantos chefes de turno (líderes de processo) há em cada turno da produção transformação?
5
Avalie a aplicação das práticas de qualidade na empresa.
Círculos (reuniões) de qualidade – Alta frequência Avaliação de metas – Média frequência Planejamento de ações – Alta frequência Levantamento e avaliação de novas ideias para a produção – Média frequência
Existem outras práticas de qualidade que você gostaria de compartilhar?

Auditorias periódicas
Como você avalia os equipamentos da área de produção/trans formação da empresa?
Equipamentos precisam de melhoria
Qual o tipo de manutenção empregado pela empresa em seus sistemas produtivos?
Manutenção corretiva; Manutenção preventiva
Como são os processos na área de produção/trans formação da empresa?
Manuais – De 40 a 60% dos processos Semi-automatizados – De 40 a 60% dos processos Automatizados – De 20 a 40% dos processos
Como funciona o processo de estocagem de insumos para a área de produção/trans formação?
A estocagem é feita por meio do Centro de Distribuição da empresa
A empresa trabalha com quais quais ferramentas para gestão dos processos de produção/trans formação?
Ciclo PDCA; Manufatura enxuta (Lean Manufacturing): MFV, 5S, fluxo contínuo, trabalho padronizado, produção puxada, TRF, qualidade na fonte
Quais são os indicadores mais importantes da empresa?
Produtividade; Qualidade; Lead Time
Como é feito o cálculo de produtividade da área de produção/trans formação da empresa?
É feito por demanda de faturamento / mês
A sua empresa trabalha com qual tipo de banco de dados?
CPD
O banco de dados da empresa é próprio ou terceirizado?
Próprio
A empresa tem investimento voltados para a segurança de dados?
Sim
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/trans formação?
MS Office – Muito utilizado CAX – Muito utilizado PLM – Não utilizado PDM – Não utilizado MDC – Não utilizado ERP – Não utilizado SCM – Muito utilizado PDA – Não utilizado CMMS – Não utilizado
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/trans formação.
FMEA – Média utilização Árvore de falhas – Baixa utilização APR: análise preliminar de riscos – Alta utilização

<p>Checklists – Alta utilização Causa e efeito (Ishikawa) – Média utilização Mapa de riscos – Média utilização 5 Porquês – Alta utilização</p>
<p>Qual o nível de customização dos produtos?</p>
<p>Escala de 1 a 5: 3</p>
<p>Quantas novas ideias da equipe de produção/transformação foram implementadas nos últimos 6 meses?</p>
<p>De 6 à 10 ideias</p>
<p>Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos?</p>
<p>Sensores de coleta de dados para a produção – Não avaliado IoT: Internet das Coisas – Não avaliado CNC: Comando Numérico Computadorizado – Médio Impressão 3D – Não avaliado RFID – Não avaliado M2M: Comunicação máquina-máquina – Não avaliado Data mining – Não avaliado Computação em nuvem – Baixo Machine learning – Não avaliado Sistemas embarcados – Não avaliado Robótica autônoma/colaborativa – Não avaliado Inteligência artificial – Não avaliado Sistemas cyber-físicos – Não avaliado Aplicativos para computadores – Não avaliado</p>
<p>Avalie a afirmação: a empresa tem estratégias voltadas para implementação de conceitos da Indústria 4.0 na área de produção/transformação?</p>
<p>Curto prazo – Existem ações em planejamento Médio prazo – Existem ações em implementação Longo prazo – Existem ações em execução</p>
<p>Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação.</p>
<p>Estratégia – Média Influência Produtividade – Alta Influência Tecnologia – Média Influência Qualidade – Alta Influência Confiabilidade – Alta Influência Custo – Alta Influência Desenvolvimento de produto – Baixa Influência Flexibilidade – Baixa Influência Ergonomia – Média Influência</p>

8 APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE MATURIDADE INDUSTRIAL: EMBALAGENS LTDA

Em qual região a empresa está localizada?
Centro Oeste
Qual o porte de sua empresa?
Médio: de 101 a 500 funcionários
Qual o setor da empresa?
Embalagens
Quantos engenheiros há na área de produção/transformação da empresa?
3
Qual a formação dos engenheiros da empresa?
Engenharia de Produção; Engenharia Mecânica
Quantos funcionários de nível técnico/médio há na área de produção/transformação da empresa?
100
Quantos funcionários de nível fundamental há na área de produção/transformação da empresa?
10
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa?
Aberto à novas ideias – Muito importante Espírito Colaborativo – Muito importante Senso de Percepção – Muito importante Conhecimento em TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) – Pouco importante Capacidade de análise de dados – Importante Interação com tecnologias avançadas – Importante
Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa.
Diretor – Autonomia total Gestor de Fábrica – Autonomia total Supervisor de produção – Média total Supervisor de qualidade – Média total Técnico de produção – Pouca autonomia Operadores – Pouca autonomia
Quantos chefes de turno (líderes de processo) há em cada turno da produção transformação?
1
Avalie a aplicação das práticas de qualidade na empresa.
Círculos (reuniões) de qualidade – Média frequência Avaliação de metas – Média frequência Planejamento de ações – Média frequência Levantamento e avaliação de novas ideias para a produção – Baixa frequência
Existem outras práticas de qualidade que você gostaria de compartilhar?

(vazio)
Como você avalia os equipamentos da área de produção/trans formação da empresa?
Equipamentos velhos
Qual o tipo de manutenção empregado pela empresa em seus sistemas produtivos?
Manutenção corretiva; Manutenção preventiva; Manutenção preditiva
Como são os processos na área de produção/trans formação da empresa?
Manuais – Até 20% dos processos Semi-automatizados – De 40 a 60% dos processos Automatizados – De 40 a 60% dos processos
Como funciona o processo de estocagem de insumos para a área de produção/trans formação?
A empresa tem apenas o seu estoque interno de insumos para a produção
A empresa trabalha com quais quais ferramentas para gestão dos processos de produção/trans formação?
Ciclo PDCA; Manufatura enxuta (Lean Manufacturing): MFV, 5S, fluxo contínuo, trabalho padronizado, produção puxada, TRF, qualidade na fonte; 6 sigma; TPM: Manutenção Produtiva Total; CEP: Controle Estatístico de Processos
Quais são os indicadores mais importantes da empresa?
Produtividade; Qualidade; Tempos de setup; Performance; Disponibilidade de maquinário; OEE; Percentual de desperdícios (erros, rejeitos, etc)
Como é feito o cálculo de produtividade da área de produção/trans formação da empresa?
produção / Quanto deveria ter produzido
A sua empresa trabalha com qual tipo de banco de dados?
Nuvem
O banco de dados da empresa é próprio ou terceirizado?
Próprio
A empresa tem investimento voltados para a segurança de dados?
Sim
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/trans formação?
MS Office – Muito utilizado CAX – Não utilizado PLM – Não utilizado PDM – Não utilizado MDC – Não utilizado ERP – Não utilizado SCM – Muito utilizado PDA – Não utilizado CMMS – Não utilizado
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/trans formação.
FMEA – Baixa utilização

<p>Árvore de falhas – Baixa utilização APR: análise preliminar de riscos – Alta utilização Checklists – Alta utilização Causa e efeito (Ishikawa) – Média utilização Mapa de riscos – Baixa utilização 5 Porquês – Média utilização</p>
<p>Qual o nível de customização dos produtos?</p>
<p>Escala de 1 a 5: 2</p>
<p>Quantas novas ideias da equipe de produção/transformação foram implementadas nos últimos 6 meses?</p>
<p>Até 5</p>
<p>Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos?</p>
<p>Sensores de coleta de dados para a produção – Alto IoT: Internet das Coisas – Alto CNC: Comando Numérico Computadorizado – Baixo Impressão 3D – Baixo RFID – Baixo M2M: Comunicação máquina-máquina – Alto Data mining – Baixo Computação em nuvem – Médio Machine learning – Baixo Sistemas embarcados – Baixo Robótica autônoma/colaborativa – Baixo Inteligência artificial – Baixo Sistemas cyber-físicos – Baixo Aplicativos para computadores – Médio</p>
<p>Avalie a afirmação: a empresa tem estratégias voltadas para implementação de conceitos da Indústria 4.0 na área de produção/transformação?</p>
<p>Curto prazo – Não existem ações nessa linha Médio prazo – Não existem ações nessa linha Longo prazo – Existem ações em planejamento</p>
<p>Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação.</p>
<p>Estratégia – Média Influência Produtividade – Alta Influência Tecnologia – Baixa Influência Qualidade – Alta Influência Confiabilidade – Alta Influência Custo – Alta Influência Desenvolvimento de produto – Baixa Influência Flexibilidade – Média Influência Ergonomia – Alta Influência</p>

9 APÊNDICE C – PLANILHA EXCEL PARA MENSURAÇÃO DA MATURIDADE INDUSTRIAL 4.0

9.1 Dimensão de pessoas

Pessoas		
Quantos engenheiros há na área de produção/transformação da empresa?	Resposta	Nota
Qual a formação dos engenheiros da empresa?	Resposta	N/A
Quantos funcionários de nível técnico/médio há na área de produção/transformação da empresa?	Resposta	Nota
Quantos funcionários de nível fundamental há na área de produção/transformação da empresa?	Resposta	Nota
Qualificação		Nota
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa? [Aberto à novas ideias]	Resposta	Nota
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa? [Espírito colaborativo]	Resposta	Nota
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa? [Senso de percepção]	Resposta	Nota
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa? [Conhecimento em TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação)]	Resposta	Nota
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa? [Capacidade de análise de dados]	Resposta	Nota
Qual sua percepção quanto de cada uma dessas competências para as pessoas que trabalham na área de produção/transformação da empresa? [Interação com tecnologias avançadas]	Resposta	Nota
Percepção		Nota
Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa. [Diretor]	Resposta	Nota
Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa. [Gestor de fábrica]	Resposta	Nota
Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa. [Supervisor de produção]	Resposta	Nota
Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa. [Supervisor de qualidade]	Resposta	Nota

Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa. [Técnico de produção]	Resposta	Nota
Avalie a autonomia das pessoas na tomada de decisões para a área de produção/transformação da empresa. [Operadores]	Resposta	Nota
Autonomia		Nota
Quantos chefes de turno (líderes de processo) há em cada turno da produção transformação?	Resposta	Nota
Chefes		Nota
Avalie a aplicação das práticas de qualidade na empresa. [Círculos (reuniões) de qualidade]	Resposta	Nota
Avalie a aplicação das práticas de qualidade na empresa. [Avaliação de metas]	Resposta	Nota
Avalie a aplicação das práticas de qualidade na empresa. [Planejamento de ações]	Resposta	Nota
Avalie a aplicação das práticas de qualidade na empresa. [Levantamento e avaliação de novas ideias para a produção]	Resposta	Nota
Qualidade		Nota

9.2 Dimensão de processos de manufatura

Processos de Manufatura		
Existem outras práticas de qualidade que você gostaria de compartilhar?	Resposta	N/A
Como você avalia os equipamentos da área de produção/transformação da empresa?	Resposta	Nota
Equipamento		Nota
Qual o tipo de manutenção empregado pela empresa em seus sistemas produtivos?	Resposta	Nota
Manutenção		Nota
Como são os processos na área de produção/transformação da empresa? [Manuais]	Resposta	Nota
Como são os processos na área de produção/transformação da empresa? [Semi-automatizados]	Resposta	Nota
Como são os processos na área de produção/transformação da empresa? [Automatizados]	Resposta	Nota
Automação		Nota
Como funciona o processo de estocagem de insumos para a área de produção/transformação?	Resposta	N/A
A empresa trabalha com quais quais ferramentas para gestão dos processos de produção/transformação?	Resposta	Nota
Quais são os indicadores mais importantes da empresa?	Resposta	Nota
Como é feito o cálculo de produtividade da área de produção/transformação da empresa?	Resposta	N/A
Indicadores		Nota
O banco de dados da empresa é próprio ou terceirizado?	Resposta	Nota

A empresa tem investimento voltados para a segurança de dados?	Resposta	N/A
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [MS Office - Planilhas Excel, Project]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [CAX - Computer Aid X: CAD, CAM, CAE]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [PLM - Gestão do Ciclo de vida do produto: Monday, Fastreact, Favro, ManageEngine AssetExplorer]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [PDM - Gestão de dados do produto: Plytix PIM, SolidWorks, Delogue, Productsup]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [MDC - Aquisição de dados de máquina]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [ERP - Gestão de recursos da empresa: Oracle, SAP, Conta Azul, MS Dynamics, Senior]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [SCM - Gestão da cadeia de suprimentos: Oracle SCM, SAP SCM, JDA Software, Infor SCM]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [PDA - Aquisição de dados de manufatura: Plant Acquis iT, brewmaxx Acquis iT]	Resposta	Nota
Quais, dos sistemas abaixo, são utilizados para suporte à área de produção/transformação? [CMMS - Softwares de Gestão de Manutenção: FaciliWorks CMMS Software, IndySoft, GP MaTe, EZOfficeInventory]	Resposta	Nota
TIC		Nota
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/transformação. [FMEA]	Resposta	Nota
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/transformação. [Árvore de Falhas]	Resposta	Nota
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/transformação. [5 Porquês]	Resposta	Nota
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/transformação. [APR: Análise Preliminar de Riscos]	Resposta	Nota
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/transformação. [Checklists]	Resposta	Nota
Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/transformação. [Causa e efeito (Ishikawa)]	Resposta	Nota

Avalie o nível de utilização das ferramentas de gestão de riscos e problemas na área de produção/transformação. [Mapa de riscos]	Resposta	Nota
Riscos		Nota

9.3 Dimensão de produtos

Produtos		
Qual o nível de customização dos produtos?	Resposta	Nota
Quantas novas ideias da equipe de produção/transformação foram implementadas nos últimos 6 meses?	Resposta	Nota
Produtos		Nota

9.4 Dimensão de tecnologias

Tecnologias		
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Sensores de coleta de dados para produção]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [IoT: Internet das Coisas]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [CNC: Comando Numérico Computadorizado]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Impressão 3D]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [RFID]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [M2M - Comunicação máquina-máquina]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Big Data - Banco de Dados (Dashboard)]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Data Mining]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Computação em nuvem]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Machine Learning]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Sistemas embarcados - processos]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Robótica autônoma/colaborativa]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Inteligência artificial]	Resposta	Nota

Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Sistemas Cyber-Físicos]	Resposta	Nota
Qual o nível de utilização das tecnologias abaixo para apoio aos seus sistemas produtivos? [Aplicativos para computadores/smarphones]	Resposta	Nota
Tecnologias		Nota

9.5 Dimensão de modelo de negócio

Modelo de Negócio		
Avalie a afirmação: a empresa tem estratégias voltadas para implementação de conceitos da Indústria 4.0 na área de produção/transformação? [Curto prazo]	Resposta	Nota
Avalie a afirmação: a empresa tem estratégias voltadas para implementação de conceitos da Indústria 4.0 na área de produção/transformação? [Médio prazo]	Resposta	Nota
Avalie a afirmação: a empresa tem estratégias voltadas para implementação de conceitos da Indústria 4.0 na área de produção/transformação? [Longo prazo]	Resposta	Nota
Estratégia		Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Estratégia]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Produtividade]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Tecnologia]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Qualidade]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Confiabilidade]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Custo]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Desenvolvimento de produto]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Flexibilidade]	Resposta	Nota
Avalie os fatores que mais influenciam o processo decisório da empresa no que tange a área de produção/transformação. [Ergonomia]	Resposta	Nota
Tomada de decisão		Nota