

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

ANDERSON FELIPE HABEKOST

**DIRETRIZES PARA INTRODUÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO
SEGMENTO DE MANUFATURA DE VEÍCULOS LINHA LEVE**

São Leopoldo

2019

ANDERSON FELIPE HABEKOST

**DIRETRIZES PARA INTRODUÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO
SEGMENTO DE MANUFATURA DE VEÍCULOS LINHA LEVE**

Projeto de Pesquisa apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Richter

São Leopoldo

2019

H113d Habekost, Anderson Felipe
Diretrizes para introdução dos conceitos da indústria 4.0
no segmento de manufatura de veículos linha leve / por
Anderson Felipe Habekost. – 2019.
67 f. : il., 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio
dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção e Sistemas, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Cristiano Richter.

1. Indústria 4.0. 2. Manufatura de linha leve. 3. Sistema
Toyota de Produção. 4. Tecnologias habilitadoras. I. Título.

CDU 658.51

Catálogo na Fonte:

Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

ANDERSON FELIPE HABEKOST

**DIRETRIZES PARA INTRODUÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO
SEGMENTO DE MANUFATURA DE VEÍCULOS LINHA LEVE**

Projeto de Pesquisa apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre
pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do
Rio dos Sinos - UNISINOS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Luis Korzenowski – UNISINOS

Prof. Dr. João Zani - UNISINOS

Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior - UNISINOS

Prof. Dr. Cristiano Richter – (Orientador)

*A minha família, Carine e João Vicente.
Sem o apoio de vocês nada seria possível.*

RESUMO

No contexto de uma economia cada vez mais globalizada e competitiva, a necessidade de avanços tecnológicos é uma questão de sobrevivência dos mais diversos setores industriais. No segmento automobilístico, em especial na manufatura de veículos da linha leve, o uso de novas tecnologias trouxe um incremento na conectividade entre produção, cadeia de suprimentos e clientes, a partir da introdução do conceito da indústria 4.0. Esta conectividade justifica-se pelo uso de novas tecnologias tais como *Internet of Things* (IOT), *Big Data* (BDA) e *Cyber-Physical Systems* (CPS), aliada a sistemas autônomos que agilizam as decisões e alteram o gerenciamento do processo de modo automático. O conceito da indústria 4.0, iniciado pela Alemanha, tornou-se global com aplicações em países como Estados Unidos, China e Japão, nos mais diferentes setores da economia. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo propor diretrizes para introdução dos conceitos da indústria 4.0 no segmento industrial automobilístico de linha leve. O estudo ocorreu de forma exploratória em quatro empresas líderes globais deste segmento. Para tal, foram realizadas visitas nas empresas Porsche, Mercedes-Benz, BMW e Audi, com foco em seus processos produtivos com observações in loco e entrevistas semiestruturadas com engenheiros e gestores das empresas. Desta forma, concluiu-se que a introdução do conceito da Indústria 4.0 neste segmento se dá a partir de (a) Implantação do Sistema Toyota de Produção (b) Modularização do processo (c) Aplicação de tecnologias principais da indústria 4.0. Por fim, entende-se que a presente pesquisa possa contribuir para um entendimento melhor destes conceitos e introdução dos mesmos em outros contextos, como é a indústria brasileira, o que poderá ser objeto para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Manufatura de linha leve, Sistema Toyota de Produção, tecnologias habilitadoras.

ABSTRACT

In the context of an increasingly globalized and competitive economy, the need for technological advances is a matter of survival of the most diverse industrial sectors. In the automotive segment, especially in the manufacture of light-line vehicles, the use of new technologies has brought an increase in connectivity between production, supply chain and customers, since the introduction of the industry concept 4.0. This connectivity is justified by the use of new technologies such as the Internet of Things (IOT), Big Data (BDA) and Cyber-Physical Systems (CPS), coupled with autonomous systems that streamline decisions and automatically change process management. The concept of industry 4.0, initiated by Germany, has become global with applications in countries such as the United States, China and Japan in the most different sectors of the economy. In this context, the present work aimed to propose guidelines for the introduction of the concepts of industry 4.0 in the automotive segment of the light line. The study took place on an exploratory basis in four leading global companies in this segment. To this end, visits were made to the companies Porsche, Mercedes-Benz, BMW and Audi, focusing on their production processes with on-site observations and semi-structured interviews with engineers and managers of companies. In this way, it was concluded that the introduction of the Industry 4.0 concept in this segment is based on (a) Implantation of the Toyota Production System (b) Modularization of the process (c) Application of main technologies of the industry 4.0. Finally, it's understood that the present research can contribute to a better understanding of these concepts and their introduction in other contexts, how is the Brazilian industry, which may be the object of future work.

Keywords: Industry 4.0, Industry, Automotive Manufacturing, Toyota Production System, Enabling Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Revoluções industriais	11
Figura 2 - Modelo "Y"do sistema integrado de informações	18
Figura 3 - Modelo "Y"do sistema integrado de informações para indústria 4.0	20
Figura 4 - Capacidade de conexão	21
Figura 5 - Pilares do Sistema Toyota de Produção	26
Figura 6 - Delineamento de pesquisa.....	32
Figura 7 - Fábrica Porsche Stuttgart	35
Figura 8 - Controle de qualidade final	36
Figura 9 - Linha de produção	36
Figura 10 - Linha de produção	37
Figura 11 - Linha de Produção	37
Figura 12 - Fábrica Mercedes Benz Sindelfingen.....	39
Figura 13 - Linha de Produção - Montagem carroceria	39
Figura 14 - Linha de Produção	40
Figura 15 - Linha de Produção - montagem componentes inferiores.....	40
Figura 16 - Linha de Produção - colocação fluídos	40
Figura 17 - Fábrica BMW Munique.....	42
Figura 18 - Linha de Produção - Estamparia.....	42
Figura 19 - Linha de Produção - soldagem carroceria.....	43
Figura 20 - Linha de Produção - pintura	43
Figura 21 - Linha de Produção - transporte autônomo de componentes.....	43
Figura 22 - Fábrica Audi Ingolstadt	45
Figura 23 - Linha de Produção	45
Figura 24 - Linha de Produção - Pintura.....	46
Figura 25 - Drone transportando peças especiais.....	46
Figura 26 - Linha de Produção - Saída para testes	46
Figura 27 - Agrupamento dimensões Sistema Toyota De Produção.....	50
Figura 28 - Processo de Introdução da Indústria 4.0.....	57
Figura 29 - Diretrizes para Aplicação	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesquisas acadêmicas sobre o tema Indústria 4.0	16
Tabela 2 - Comparativo das Aplicações	48
Tabela 3 - Conexão entre Sistema Toyota de Produção e indústria 4.0	55
Tabela 4 - Relação Sistema Toyota De Produção e Indústria 4.0	57

LISTA DE SIGLAS

I4.0	Indústria 4.0
CPS	Sistema Cyber Físico
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
BMW	<i>Bayerische Motoren Werke</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
SCADA	Supervisório de Controle
ERP	Sistema de Planejamento de Materiais
MÊS	Sistema de Controle de Produção
ANFEAVA	Associação Nacional dos Fabricantes de Equipamentos Agrícolas e Veículos Automotores
TPM	<i>Total Production Manangement</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
IOT	Internet das Coisas
BDA	Big Data

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Tema	14
1.2 Delimitação do Tema	14
1.3 Problema	15
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo Geral	15
1.5. Justificativa	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Indústria 4.0	19
2.2 Tecnologias Habilitadoras	23
2.3 Sistema Toyota de Produção	26
2.4 Modularização	29
3 METODOLOGIA	31
3.2 Estudo de Caso	31
3.3 Procedimentos Metodológicos	31
3.3.1 Fonte de Evidências	32
3.3.2 Descrição das unidades de análise	33
4. Apresentação e discussão dos resultados	34
4.1 Descrição dos casos	34
4.1.1 Porsche	34
4.1.2 Mercedes Benz	37
4.1.3 BMW	41
4.1.4 Audi	44
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA	47
4.3 DISCUSSÕES	48
4.3.1 Preposição do modelo de introdução	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A primeira e histórica mudança da forma de produção ocorreu no século XVIII, chamada de 1ª Revolução Industrial, com a utilização de máquinas de fabricação funcionadas a vapor nas fábricas de tecelagem. Já no século XIX Henry Ford baseado em conceitos da indústria frigorífica, introduziu um novo modelo de linha de produção, que chamamos de 2ª Revolução Industrial. Nesta época, a padronização da produção somada à massificação e a utilização da energia elétrica em substituição ao vapor proporcionaram uma estruturação organizada de montagem de automóveis. Com a padronização de processos e uma linha de montagem acoplada com um conjunto de esteiras, Ford reduziu os custos de produção e os preços dos produtos, deixando o automóvel acessível a todos, sendo assim esse acesso facilitado modificou os volumes de produção e consumo da época.

Em meados do século XX e com outros conceitos de gestão criados ao longo daquele século, ocorreu o que conhecemos como a 3ª Revolução Industrial. A partir de então as máquinas começaram a ser automatizadas e o processo começou a receber sensores em diferentes partes, trabalhando assim de forma automática por comandos de controladores lógicos programáveis (CLP). (JÚNIOR, 2017). A informática passa a ser utilizada como forma de promover a automatização da produção e segurança nas operações, transcorrendo a primeira ruptura na relação direta entre máquinas, pessoas e processos. Estas três grandes revoluções intercorridas na indústria modificaram a forma direta do processo produtivo em um nível global.

Hoje no século XXI a indústria passa novamente por mudança estrutural importante, alguns autores caracterizam esta mudança como a 4ª Revolução Industrial intitulada como Indústria 4.0. (BENGIO; GOODFELLOW; COURVILLE, 2015). Este termo foi cunhado pela Alemanha a partir de 2011, em outros países é possível encontrarmos denominações diferentes como *Advanced Manufacturing* nos Estados Unidos. No presente trabalho utilizei a denominação Indústria 4.0 por ser utilizada pelo primeiro país a iniciar a aplicação de tais conceitos.

Com a introdução da indústria 4.0 é possível uma redução de custos como também à facilitação de acesso a novas tecnologias, tais itens antes inviáveis de

serem aplicados, passam a ser acessíveis, abrindo um gama de possibilidades para as empresas.

A competitividade e a flexibilidade na produção em busca de redução de custos e o aumento na diversidade de combinações de produtos para conquista de clientes é uma nova realidade em que as indústrias começam a enfrentar. Para proporcionar esta flexibilidade, onde os dispositivos conectam entre si e com interfaces humanas, a conectividade surge com princípio chave. Sendo assim, dados são gerados em simultaneamente em tempo real por centenas de sensores conectados as máquinas. (FALLER; FELDMÜLLER, 2015). O processo é adequado com análises avançadas e aprendizagem por máquinas, tornando esta rede de sensores, dispositivos e recursos humanos incrivelmente capazes de cumprir as necessidades do setor e alcançar resultados. A figura 1 demonstra as revoluções industriais ocorridas em âmbito global.

Figura 1 - Revoluções Industriais



Fonte: (BENGIO; GOODFELLOW; COURVILLE, 2015).

Na Indústria 4.0 os trabalhos físicos e braçais, assim como os trabalhos de resolução de problemas estão sendo substituídos por máquinas. (SCHWAB, 2016). A Internet das coisas (IOT¹) está conectando pessoas e máquinas por interfaces de simples operação e acesso remoto de qualquer lugar, proporcionando diversas possibilidades e flexibilidades não almejadas anteriormente para a indústria. Além dos processos produtivos, a cadeia de suprimentos passa a ter um papel ainda de maior importância nessas conexões. Viabilizando toda a estrutura de abastecimento e

¹IOT, *Internet Of Things* ou Internet das Coisas é uma rede de objetos físicos, veículos, prédios e outros que possuem tecnologia embarcada, sensores e conexão com a rede e é capaz de coletar e transmitir dados.

distribuição de forma automática e precisa sem a interferência humana nas decisões. Com isso, o atendimento ao cliente é diferenciado, disponibilizando a ele várias opções de compra. Para a indústria passa a ser uma venda personalizada com atendimento de forma individual, customizado e bem mais rentável.

O conceito da indústria 4.0 foi iniciado na Alemanha em como uma estratégia do governo para as indústrias alemãs ganharem maior competitividade e flexibilidade em seus processos. (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). Em 2011 na Alemanha, foi criado um grupo de pesquisa ministrado por professores, representantes de empresas e comunidade. Liderado por pesquisadores de universidades, este grupo teve como objetivo o desenvolvimento de estratégias tecnológicas para minimizar os problemas de envelhecimento e redução da população economicamente ativa no país. Além dos objetivos propostos, ainda era preciso reduzir os custos das empresas sem que houvesse impacto social e ambiental. A partir de então iniciou-se um planejamento estratégico apoiado pelo governo com princípios ligados a introdução de alta tecnologia no processo e sustentados por 3 pilares: Governo, universidade e indústrias. (SCHEER, 2015). Neste plano o país alemão prevê que até 2020 todas suas empresas estariam sendo gerenciadas pela plataforma de indústria 4.0 (ALMADA-LOBO, 2016).

Aproximadamente cinco anos após a criação deste grupo de pesquisa, o fórum econômico mundial teve como tema principal a indústria 4.0, a preocupação e o objetivo principal eram de nivelar conceitos e discutir os futuros impactos que a expansão desta aplicação traria em um ambiente socio econômico mundial. (SCHWAB, 2016). Pois dados revelavam que 17% das indústrias tinham como realidade a 2ª Revolução Industrial e acesso restrito a eletricidade, considerando que cerca de 4 bilhões de pessoas ainda não possuíam acesso a internet. Porém não havia como prever a velocidade em que as mudanças ocorreriam. (SCHWAB, 2016). De encontro com todas as informações anteriormente citadas, vemos um movimento de mudança industrial, onde a maioria dos países está convicta de que a flexibilidade e a competitividade das indústrias necessitam das transformações que a 4ª Revolução Industrial propõe. (ALMADA-LOBO, 2016).

Após a iniciativa alemã, as replicações de estratégias para viabilizar essas transformações começaram a ser desenvolvidas em todo o mundo. Demonstrando a

importância das transformações propostas para a inserção das indústrias mundiais nesse novo cenário econômico competitivo, emergido atualmente. (HARTWELL, 2017). As estratégias ganham variadas denominações, nos Estados Unidos com o programa *Advanced Manufacturing*, na Índia com o *Make in India*, na França com o *Industrie du Future*, na Suécia com o *Produktion 2030*, na China com o *Made in China 2025*, na Inglaterra com o *High Value Manufacturing* e no Japão com o *Innovation 2025 Program*.

Nos Estados Unidos, em busca de melhores margens de produção, houve um crescente deslocamento de plantas industriais norte americanas para fora do país, o que gerou um processo de desvinculação de produção e inovação no país. Isto afetou a capacidade dos EUA em gerar tecnologia de ponta e inovação, em vista deste cenário, foi criado um movimento voltado à promoção da indústria de transformação dos EUA. O Governo Norte Americano divulgou em 2012 uma estratégia ampla para orientar os investimentos federais em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia avançada, incorporando sugestões e recomendações de representantes da indústria e das universidades, destinando recursos para esta área. Esse movimento foi chamado de “*A National Strategic Plan For Advanced Manufacturing*” e mundialmente ficou conhecido como *Advanced Manufacturing*, com o objetivo de retomar a liderança mundial dos EUA em tecnologia de ponta e inovação de processos e produtos. (HARTWELL, 2017). Diferente do foco alemão, porém com o mesmo princípio de investir em pesquisas, tecnologias e inovação aplicadas aos processos como forma de melhorá-los.

Na China o esforço foi muito mais amplo, como a eficiência e a qualidade dos produtores chineses são desiguais ao restante do mundo. Múltiplos desafios precisavam ser superados para evitar que a China fosse pressionada por produtos com custos menores e processos mais eficazes de países industrialmente mais avançados. Com o movimento chamado de *Made in China 2025*, a China traçou como prioritário a melhoria de seus processos e a qualidade de seus produtos, sem o aumento do o custo de produção. O plano foi elaborado em 2015 pelo Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação (MIIT), durante dois anos e meio e com a contribuição de 150 especialistas da Academia de Engenharia da China. Tal plano destacava 10 setores prioritários: Tecnologia de informação avançada; Máquinas

e ferramentas automatizadas e robótica; Equipamentos aeroespaciais e aeronáuticos; Equipamento marítimo e transporte de alta tecnologia; Equipamentos moderno de transporte ferroviário; Veículos e equipamentos com novas fontes de energia; Equipamento de potência; Equipamentos agrícolas; Novos materiais; Biofarma e produtos médicos avançados. Estes setores receberam suporte financeiro e de pesquisa e desenvolvimento buscando tecnologias inovadoras para seus processos produtivos.

Todos esses movimentos levantam uma série de propostas e um planejamento de aplicações baseado em tecnologia. Considerando que cada indústria é diferente e que cada uma possui suas particularidades. A seguinte questão é apresentada: Como essa tecnologia pode ser absorvida pelas indústrias?

1.1 Tema

Compreende-se pelo movimento mundial que a aplicação do conceito da indústria 4.0 além de ser importante, é necessária para competitividade econômica mundial, e está intimamente ligada com o meio acadêmico de todos os países que buscam replicar este conceito. Justificando-se assim trabalhos com este conteúdo no território nacional, e que possam fornecer conteúdo com clareza para o meio industrial nos dias de hoje.

A melhoria das margens e o aumento da competitividade é a principal razão da sobrevivência das indústrias, sendo assim justifica-se a introdução de conceitos de movimentos industriais mundiais antecipando e colocando as empresas dentro do cenário de competição mundial atual. Diretrizes que encaminhem uma aplicação como à estudada contribuem para nortear o segmento de manufatura para uma aplicação mais direta e assertiva.

1.2 Delimitação do Tema

As diretrizes propostas foram baseadas em aplicações na manufatura automobilística de linha leve. Contudo o estudo teve limitações relacionadas a fatores como: acesso aos dados das empresas, confidencialidade dos dados compartilhados

com o autor em observações feitas *in loco*, limitações de recursos para aprofundar o estudo de caso e a indisponibilidade de acesso às empresas nacionais deste mesmo ramo.

1.3 Problema

Quais as diretrizes de aplicação que as empresas automobilísticas de manufatura linha leve poderia seguir para introduzir as tecnologias de indústria 4.0 em seus processos?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor diretrizes para introdução dos conceitos da indústria 4.0 no segmento industrial automobilístico de linha leve. Por tanto, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- a) Pesquisar e explorar de que forma as tecnologias foram aplicadas nas empresas onde a indústria 4.0 já está em pleno funcionamento;
- b) Entender quais conceitos foram importantes para esta introdução;
- c) Indicar diretrizes para introdução da indústria 4.0 no processo de manufatura de linha leve;

1.5. Justificativa

Em um cenário de competitividade mundial, as empresas precisam buscar maneiras de atualizar-se para que continuem a desenvolver seus processos de forma cada vez mais competitiva. A globalização aproxima concorrentes de todos os lugares do mundo. Com as tecnologias mais acessíveis elas são utilizadas de forma a melhorarem a interação e a rápida tomada de decisão no processo. (SCHWAB, 2016).

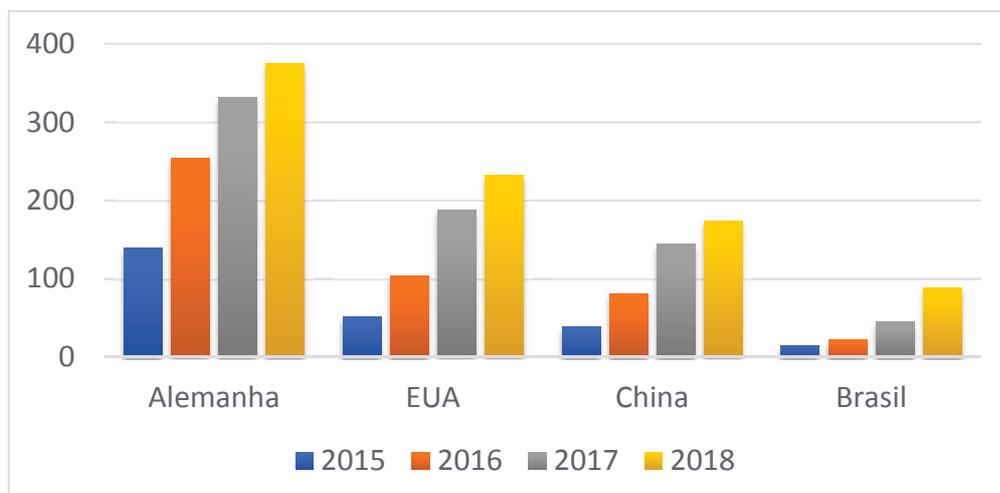
As aplicações tecnológicas surgem como forma de suprir necessidades antes impossíveis de serem alcançadas. Conseguir prever manutenções corretivas antes

que aconteçam, mudar automaticamente o fluxo de fabricação para uma otimização perfeita, lançar ordens de compra para fornecedores automaticamente e de acordo com o consumo instantâneo do processo e ter o controle de todos os dados gerados é algo que não se pode mais ser colocado como segundo plano em uma indústria inserida em um contexto global. (FALLER; FELDMÜLLER, 2015).

Este movimento de aplicação de tecnologia nos processos possui caráter mundial, iniciado na Alemanha e denominado de indústria 4.0 por este país. Este movimento ganha importância para todos os contextos, criando um aparato mundial de aplicações em todos os países. No contexto brasileiro não é diferente, mesmo a indústria atrasada em tecnologias e aplicações fundamentais, o governo brasileiro já busca trabalhos voltados a estas aplicações em suas indústrias nacionais. (CNI, 2017). Aplicações que visam o aumento da flexibilidade e rentabilidade dos produtos e a colocação de empresas em uma melhor posição no mercado, o que acaba sendo uma alternativa para o retrocesso industrial vivido atualmente. (HARTWELL, 2017).

O estudo de caso realizado nos grandes players do setor de manufatura de linha leve identifica-se pelo fato de estudos voltados a indústria 4.0 estarem em crescimento em todo o mundo. Procurando explicar esse novo conceito e suas peculiaridades e interações remetendo produtividades cada vez mais flexíveis e rentáveis. (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

Tabela 1: Pesquisas acadêmicas sobre o tema Indústria 4.0



Fonte: Scopus (2019)

Com isso o problema de pesquisa ascendente desta dissertação é atual e pertinente as indústrias como forma de conectar os processos atuais das indústrias de manufatura linha leve, com a migração para os conceitos da indústria 4.0 e suas melhorias.

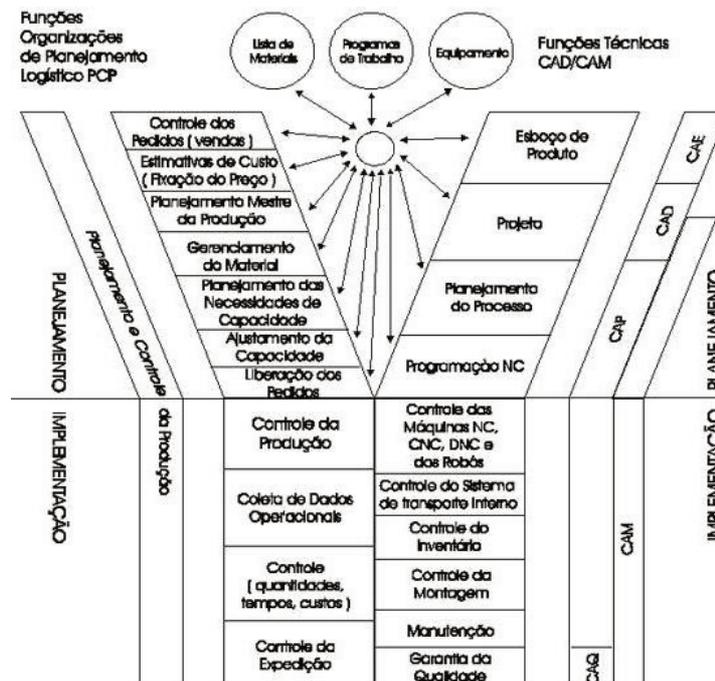
Este trabalho pretende esclarecer sobre o grande benefício que é a aplicação do conceito da indústria 4.0 traz para o mundo moderno, propondo diretrizes para aplicação destes conceitos na indústria automobilística de linha leve. Principalmente nesses processos produtivos onde é possível a implantação de soluções desenvolvidas a partir de avançada tecnologia, o que permite inovação, agilidade, flexibilidade e a customização de produtos, além do alto controle de qualidade do produto final. O resultado é uma indústria reinventada, mais competitiva com produtos customizados e tecnologia avançada de alta conectividade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com a chegada dos conceitos de gestão da indústria 4.0 e a ampla variedade de oportunidades geradas dessa aplicação nas indústrias, sua aplicação será primordial para as empresas que desejarem estar em um estágio de competição econômica mundial. Gradativamente as tecnologias que habilitam o processo ao patamar 4.0 serão introduzidas, de mesma forma em que o Sistema Toyota de Produção foi inserido no passado e hoje esses conceitos estão consolidados dentro da cultura das indústrias de manufatura de veículos leves.

Melhorar e integrar a manufatura com a utilização de tecnologia é algo que já foi tema de discussão desde a década de 80, quando o computador havia sido inventado. (SCHEER, 1993). Neste período, a Manufatura Integrada por Computador (CIM) era discutida como forma de trazer maior agilidade as decisões e processamento de dados no processo. As funções técnicas do processo produtivo eram processadas por um computador que criava o planejamento total da fábrica. A Figura 2 demonstra como funcionava seu modelo "Y" de integração.

Figura 2 - Modelo "Y" do sistema integrado de informações



Fonte: (SCHEER, 1993)

O modelo “Y” foi construído por duas linhas principais: o lado direito com funções técnicas ligadas ao produto (sistemas CAE/CAD/CAM, comando numérico (CN), planejamento do processo (CAP), controle de equipamentos (CE) e controle de qualidade (CAQ); e o braço esquerdo com funções ligadas Planejamento (PP) e Controle da produção (CP). (SCHEER, 1993). Este sistema Integrado de Informações apresenta uma manufatura alinhada por computador, com uma base de dados única. Porém, ainda com decisões centralizadas acontecendo em lotes e dependendo da análise e intervenção do homem. A aplicação total deste conceito nunca ocorreu por completo, seu custo elevado e sua complexidade de entendimento e interação inviabilizaram sua continuação. Hoje em dia este conceito foi atualizado e será mostrado em próximo capítulo.

Contudo, sistemas para gestão e monitoramento do processo continuaram sendo utilizados para obtenção de redução de desperdícios e melhoria de eficiência do processo mesmo sem o auxílio ou alinhamento do computador.

2.1 Indústria 4.0

Designada como 4^a Revolução Industrial a indústria 4.0 conecta as estruturas produtivas horizontal e verticalmente e adiciona uma conectividade *on line* em todos os elos decisórios da produção e da cadeia de suprimentos. Uma interação vertical com comunicação de compras, fornecedores, produção e logística com o autogerenciamento controlado através do grande volume de dados analisados a todo segundo. Horizontalmente indo desde a interação com o cliente até a entrega do produto utilizando toda a tecnologia disponível e conectividade para fazer o processo mais flexível e atendendo todas as especificações dos clientes. (FALLER; FELDMÜLLER, 2015). O ajuste, o monitoramento dos processos e as medições são em tempo real. O controle e o fluxo do produto podem ser acompanhados incrivelmente por qualquer pessoa em qualquer lugar do mundo. Todo o processo de ciclo de vida de produto é gerenciado automaticamente pelo sistema. Todas as tecnologias mais modernas são utilizadas em favor do processo: controladores lógicos programáveis (CLP), supervisor de controle (SCADA), Sistema de controle de produção (MES), Sistema de planejamento de fornecimento de materiais (ERP) e os programas de visualização em forma de App. (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

Perante as perspectivas dessas novas tecnologias Scheer (2015) atualizou seu modelo integrado de informações, aplicou as tecnologias centrais da indústria 4.0 em seu modelo “Y” de integração, colocando o processo organizacional de um lado e o técnico de outro. Esta nova roupagem o sistema “Y” tem agora uma tomada de decisão descentralizada e autônoma de forma individual (customizada) e instantânea. Este novo modelo pode ser visualizado na figura 3 demonstrada abaixo.

Figura 3 - Modelo "Y" do sistema integrado de informações para indústria 4.0



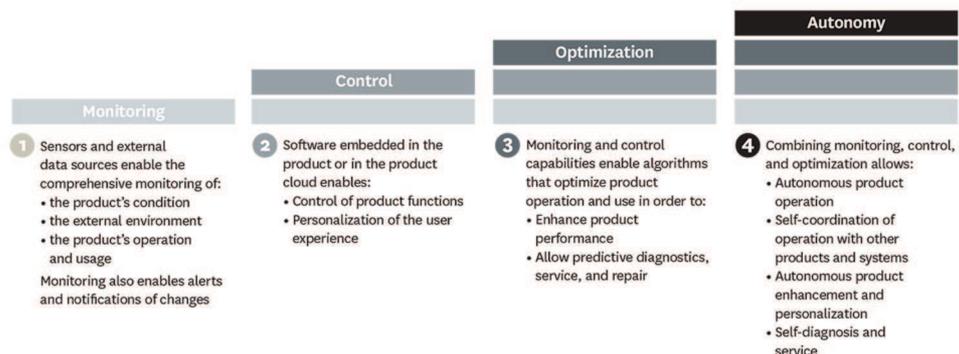
Fonte: (SCHEER, 2015)

Neste modelo acima as integrações diretas da indústria 4.0 são representadas pelas secções de formação do Y. Com as tecnologias associadas em seu redor, as atividades de planejamento ficam no topo do modelo, e na base os mecanismos de controle e realização. Os processos de pedidos são representados na parte esquerda da figura, pedidos estes necessários para a execução da manufatura e atendimento ao cliente. Em sua parte direita, a figura representa todo o processo de execução do produto, assim como seus processos auxiliares (planejamento, pesquisa e desenvolvimento) (SCHEER, 2015). Toda a parte de controle e finanças acompanha a operação, porém não possuem atuação direta no produto.

A produção será iniciada de acordo com os pedidos realizados, as características de produção serão decididas por meio de uma rede de dados, onde haverá uma interação com todos os sensores e processos da fábrica direcionando o melhor fluxo e a melhor linha de entrada para manufaturar o produto. As células de produção serão designadas como *smart factory* onde haverá uma diversificação de produtos e características trazendo as fábricas uma customização jamais imaginada em processos comuns. (SENDER, 2013)

Quando é exposto uma capacidade para produtos inteligentes conectados serem processados, partimos de uma escala de separação ordenada da seguinte forma: Monitoramento, Controle, Otimização e Autonomia. O que segue o mesmo pensamento de integração proposto pela indústria 4.0 em suas tecnologias centrais definidas como *Cyber Physical Systems*, *Internet of Things* e *Big Data Analytics*. (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). Pode-se utilizar essa mesma integração para um ambiente de manufatura, onde as máquinas ou células de produção podem ser tratadas como produtos inteligentes, entregando sua função de fabricação de peças de forma integrada entre si e conectada entre sua cadeia de valor, formando uma *smart factory*.

Figura 4 - Capacidade de conexão



Fonte: (SCHEER, 2015)

O Monitoramento da condição de operação e ambiente externo do produto pode ser realizado por sensores e fontes externas de dados permitindo o acompanhamento do histórico, e características operacionais, executando uma intervenção antes de uma situação crítica de uso. O Controle permite o ligar e desligar de uma função, regular a intensidade remotamente e por meio de algoritmos de

programação pode também ser acionado automaticamente. (HIRSCH-KREINSEN,2014). Com este fluxo de dados de monitoramento a melhoria do processo pode ser automaticamente executada assim como os ajustes de parâmetro que prolonguem a vida útil do componente que previnam intervenções de manutenção corretiva.

A Autonomia é atingida através da soma das capacidades de monitoramento, controle e otimização, gerando a capacidade de os componentes possuírem inteligência para adaptar-se as necessidades de serviço por meio dos dados processados. (SENDER, 2013).

O governo Brasileiro sabe que a indústria 4.0 é indispensável para a competitividade de seus produtos nesta nova realidade mundial. (CNI, 2017). Porém afirma que ela deve ser aplicada imediatamente independente do grau de industrialização, pulando etapas importantes de aprendizados e de amadurecimentos das empresas brasileiras, o que pode ocasionar graves problemas nos processos produtivos.

Nas indústrias automotivas existentes em território nacional, é válido que os conceitos de gestão da indústria 4.0 estão com prioridade de investimentos, em empresas Mercedes Benz, na BMW, Audi e vagorosamente na Volkswagen e General Motors. É extremamente importante salientar que segundo publicações da Capes apenas 52 trabalhos acadêmicos foram aplicados de indústria 4.0, destes apenas 1 na indústria automobilística.

Ainda não se tem um conceito definido entre o governo brasileiro, a indústria e as universidades, sobre as aplicações deste tipo de tecnologia em processos. Devido ao momento de recessão enfrentado pela economia brasileira e a redução de investimentos em todas as áreas e setores produtivos, estes agem como um entrave para aplicação de novas tecnologias.

O Sistema Toyota de Produção no âmbito nacional é aplicado desde o século XX nas indústrias automobilísticas do Brasil, os trabalhos acadêmicos voltados para esta abordagem são de ferramentas pontualmente aplicadas, não havendo relatos de pesquisas e aplicações completas de todos os conceitos do Sistema Toyota De Produção neste contexto. (EQUI; JUNIOR, 2016).

A produção do setor automobilístico com a entrada de automóveis importados e operações internacionais, no território brasileiro, assim como o surgimento de indústrias estrangeiras em solo brasileiro. Segundo dados da ANFEAVA, é importante lembrar que, o número de modelos e opções de compra sofreram um aumento de 262% na última década. Para a indústria Brasileira a necessidade de introdução de novos produtos e modelos, e a redução dos valores de vendas praticados no mercado, levaram-na a uma necessidade de detecção de defeitos de forma mais eficaz, tanto para redução de custos quanto para disponibilizar os modelos de forma rápida e com preço mais acessível.

As indústrias de veículos automotores são as maiores investidoras em pesquisa e desenvolvimento de produtos e de processos que existem. (CNI, 2017). Utilizando a base de dados da capes, podemos observar 770 trabalhos voltados às ferramentas do Sistema Toyota De Produção na indústria automobilística Brasileira, filtrando os anos de 2015 a 2018. Demonstrando e confirmando os dados da CNI sobre incentivo à pesquisa e desenvolvimento nesta área.

Em uma abordagem geral o setor automotivo encontra-se indiscutivelmente a frente dos demais setores da indústria Brasileira, pode-se dizer que este está na indústria 3.0, enquanto os demais setores da indústria ainda estão em um processo de transição entre 2.0 e 3.0. Enquanto no Brasil ainda se fala em Sistema Toyota de Produção e aplicações, internacionalmente a cultura do Sistema Toyota De Produção já está bem consolidada. Alemanha, Estados Unidos, Japão e Coreia já aperfeiçoaram as ferramentas existentes de acordo com a realidade vivida por cada cenário de cada país. Seguindo os bancos de dados da Capes e da Scopus, o Sistema Toyota De Produção já não é tratado isoladamente nestes países, os trabalhos e as pesquisas mostram as relações deste método com diferentes práticas além de uma quantidade 200 vezes superior de trabalhos e pesquisas na área.

2.2 Tecnologias Habilitadoras

Atualmente o fator que está liderando a 4ª Revolução Industrial é a IOT aplicada nos processos produtivos, incorporando máquinas, sistemas, armazéns, plantas de

produção e cliente, em um sistema cyber físico (CPS¹), onde o controle e a tomada de decisão ficarão descentralizados e poderá ser feito automaticamente e incrivelmente em qualquer lugar do planeta. (BAUERNHANSL; SCHATZ; JÄGER, 2014). Tal fator traz benefícios para a manufatura, no ciclo de vida dos produtos e aproxima o cliente do processo.

A concepção de "*Smart Facturing*"² introduz no ambiente de produção um novo conceito de fábrica, onde a utilização da IOT conjuntamente com o CPS na logística, manufatura e cadeia de suprimentos, criam um novo e atual modelo de negócio onde o cliente passa a se conectar com os processos da organização *on-line*. (BAUERNHANSL; SCHATZ; JÄGER, 2014). A conexão entre IOT, CPS somando-se ao BDA elevam a manufatura a um novo patamar, onde as análises de algoritmos complexos são possíveis para uma tomada de decisão acertada e sem a interferência humana. Flexibilizando todo o processo e reduzindo os custos de manutenção, planejamento e *setups* de ferramenta, tornando-as primordiais e principais para aplicações de indústria 4.0 (KAGERMANN et al., 2013). As tecnologias habilitadoras para a indústria 4.0.

Cyber Physical Systems (CPS): É a combinação entre sistemas físicos e cibernéticos, onde as alterações nos dois sistemas reagem de forma direta, representando um "aprendizado" a cada ação. (RAMSAUER, 2013). Há uma interação entre sistemas embarcados, redes de comunicação, conectividade de internet e pessoas. O CPS é o elemento principal do contexto de indústria 4.0, com ele é possível desenvolver processos autônomos com dupla função de aprendizado, tornando-os inteligentes através da comunicação e de algoritmos de decisão. Os componentes passam a ter a capacidade de decidir a respeito da sua configuração e seu trabalho (LEE; BAGHERI; KAO, 2015). Isto desencadeia uma descentralização das decisões, que ocorrem a toda hora no decorrer do processo de acordo com a entrada e saída das leituras e informações da linha, proporcionando estabilidade, flexibilidade e agilidade nas ações. O CPS tem um papel fundamental na conexão entre clientes, cadeia de suprimentos, produção e distribuição. Todo o fluxo passará por uma rede

¹*Cyber Physical Systems* (CPS): É um sistema composto por elementos computacionais colaborativos com o intuito de controlar entidades físicas.

²*Smart Facturing*: Traduzido do inglês-Fabricação inteligente é uma categoria ampla de fabricação com o objetivo de otimizar a geração de conceito do produto, a produção e a transação do produto.

de dados que organizará e tomará as decisões para que o processo ocorra da melhor forma possível (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015). Esse sistema traz benefícios também para a área de manutenção, pois com os sensores ligados em todos os componentes da máquina, a área de gestão de manutenção saberá do comportamento *on line* dos equipamentos, planejando o melhor momento para intervenções de manutenção automaticamente.

Internet das Coisas (IoT): Como o próprio nome indica, é a conexão dos objetos na rede de internet com o usuário e entre eles. Cada usuário interage por meio de um objeto, com vários outros objetos interconectados (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015). Na manufatura o IOT pode ser aplicado permitindo que os produtos se comuniquem com as máquinas, as máquinas se comuniquem com outras máquinas e as pessoas se comuniquem com os produtos, permitindo assim diversas possibilidades e a customizações de produtos pelos clientes. Inserindo uma nova forma dos clientes se relacionarem com a cadeia produtiva. (BAUERNHANSL; SCHATZ; JÄGER, 2014).

Big Data Analytics (BDA): Com uma grande massa de dados gerados e analisados atualmente, não faz nenhum sentido que as decisões sejam tomadas por intuição ou conhecimento humano apenas. (RAMSAUER, 2013). Esses dados possibilitam que produtos, componentes de máquinas, peças e parâmetros sejam continuamente monitorados para um banco de dados utilizado na solução de problemas e tomada de decisão autônoma. O BDA é considerado hoje um recurso chave da vantagem competitiva proporcionada pela aplicação da indústria 4.0, agregando valor com informações e velocidades impossíveis de atingir via observação e experiência humana. (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015).

As informações coletadas durante o ciclo de vida do produto em toda a cadeia de fornecimento e sistema de produção é processada e interpretada, gerando uma resposta lógica de atuação eficaz, eficiente e, sobretudo rápida. (RAMSAUER, 2013). Com isso é possível melhorar a eficiência dos processos, pode-se prever uma manutenção preventiva, programar a produção, melhorar o controle de qualidade, reduzir os desperdícios e prever *setups*.

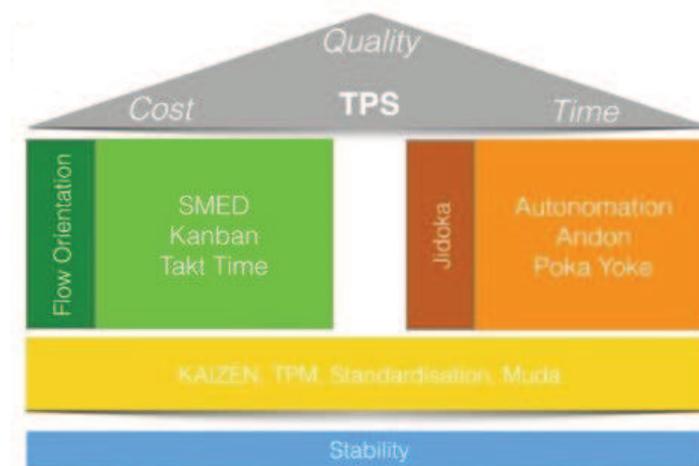
Algumas tecnologias são consideradas como impulsionadoras e são aplicadas conforme a necessidade particular de cada indústria, como: Impressão 3D, robótica

avançada, veículos autônomos, tecnologias biológicas e materiais inovadores. (BAUERNHANSL; SCHATZ; JÄGER, 2014).

2.3 Sistema Toyota de Produção

Sistema Toyota de Produção e seus conceitos são utilizados com sucesso pela manufatura de linha leve nas últimas décadas. Assim como sua primeira aplicação, na Toyota Motor Company, por Taiichi Ohno e sua disseminação pelos mais diversos sistemas produtivos no mundo como conceito chave para redução de desperdícios dentro dos processos. (DENNIS, 2016). Sustentado por dois pilares principais o *Just in time* (JIT) e a Automação (ou JIDOKA) tem sua base na melhoria contínua (KAIZEN), a manutenção produtiva total (TPM), padronização e eliminação de desperdícios (MUDA). A figura 2 representa estes pilares.

Figura 5 - Pilares do Sistema Toyota de Produção



Fonte: (CHIARINI; VAGNONI, 2015).

O Sistema Toyota De Produção tem por objetivo “identificar, localizar e eliminar as perdas, garantindo um fluxo contínuo de produção. Sua viabilidade depende de três fatores intrinsecamente relacionados: fluxo contínuo, *takt time*³ e produção puxada”, (DENNIS 2016). O fluxo contínuo é a resposta à necessidade de redução do

³*Takt time*: é o tempo disponível para a produção dividido pela demanda de mercado. Orienta a maneira pela qual a matéria prima avança pelos processos (sistema).

lead time de produção. O *takt time* é o tempo necessário para produzir um componente ou um produto completo, baseado na demanda do cliente. Em outras palavras, o *takt time* associa e condiciona o ritmo de produção ao ritmo das vendas (LACERDA; XAMBRE; ALVELOS, 2016). O conceito de produção puxada confunde-se com a própria definição de *Just-In-Time*, que é produzir somente os itens certos, na quantidade certa e no momento certo. (SHINGO, 1996; SAVINO; MAZZA, 2015). Um sistema de produção trabalhando sob a lógica da produção puxada produz somente o que é vendido, evitando a superprodução (CHIARINI; VAGNONI, 2015). Com o JIT os estoques e os custos de produção são reduzidos. Desta forma com o aumento do controle de qualidade, os desperdícios tendem a desaparecer. Em processos onde a variação da demanda é elevada alguns problemas de paradas de produção podem ocorrer, caso ocorram rupturas de fornecimento de matéria prima, visto a redução nos níveis de estoque. O processo de autonomia baseava-se em um processo de automação "inteligente" com um toque humano, as máquinas poderiam identificar possíveis anomalias durante a fabricação. (SHINGO, 1996; SAVINO; MAZZA, 2015). Isto surgiu através das observações dos teares automáticos, onde o tear parava automaticamente e imediatamente quando os fios verticais ou laterais se rompiam ou saíam do lugar. O dispositivo capaz de julgar era embutido dentro da máquina e isso permitia diferenciar uma situação normal de uma situação atípica. Desta forma produtos defeituosos não saíam da linha de produção eliminando a superprodução e parando a linha automaticamente permitindo que a situação fosse investigada (CHIARINI; VAGNONI, 2015). A aplicação da autonomia como pilar para o Sistema Toyota De Produção proporciona ao processo uma redução de mão de obra, um ganho na produtividade e qualidade e uma maior eficiência na fabricação, já que não há saída de produtos defeituosos (LACERDA; XAMBRE; ALVELOS, 2016). Porém a falta de manutenção dos equipamentos ou uma parada repentina por problemas de energia elétrica podem provocar falhas nesta detecção de anomalias automáticas e devem ser tratadas de modo especial na aplicação. Melhoria contínua, ou *Kaizen*, formam junto com a aprendizagem coletiva uma das bases que sustentam o JIT e o JIDOKA.

Segundo DENNIS (2016) a padronização do trabalho é uma das portas iniciais para que as melhorias aconteçam de forma gradual e natural. Somente processos

padronizados e em constante análise podem ser melhorados. Manutenção Produtiva Total (TPM) é caracterizada como um sistema de monitoramento e de manutenção preventiva dos equipamentos ligados diretamente ao processo produtivo, aumentando a vida útil e proporcionando o menor índice possível de paradas de máquina. Os maiores ganhos desta aplicação são a disponibilidade e otimização dos equipamentos, a prevenção de paradas não programadas, avaliação e deixando o processo mais confiável e robusto, a redução do tempo de manutenção corretiva e a redução dos custos de manutenção de equipamento. Segundo (LACERDA; XAMBRE; ALVELOS, 2016) uma TPM bem planejada e aplicada, além dos benefícios apresentados pela maior confiabilidade dos equipamentos, reúne uma série de informações e dados que tornam o setor de manutenção integrado com os demais setores da manufatura. Associado a ferramentas de 4S⁴ e de troca rápida de ferramentas (SMED) proporcionam um controle sobre o gerenciamento do sistema. No Sistema Toyota De Produção a Eliminação dos Desperdícios são fatores chaves. O objetivo principal do sistema era reduzir todos os desperdícios existentes entre o cliente efetuar o pedido até o recebimento do pagamento do produto. Um olhar crítico a todo o processo que acontecia dentro desta linha de tempo e a redução de todo trabalho que não agrega valor ao produto manufaturado eram uma constante melhoria contínua. (SHINGO, 1996; SAVINO; MAZZA, 2015). Os desperdícios podem ser classificados como:

- a) Superprodução;
- b) Tempo de espera;
- c) Transporte;
- d) Processamento de pedido;
- e) Estoque;
- f) Movimentação;
- g) Retrabalho.

Esses desperdícios retiram percentuais da margem de lucro dos produtos e por vezes passam despercebidos no processo. (NALLUSAMY, 2016). Formas simples ou simplificadas de ver a operação já reduzem as perdas. Executar um mapa de fluxo de

⁴ 5S: é um programa de gestão de qualidade empresarial desenvolvido no Japão que visa aperfeiçoar aspectos como organização, limpeza e padronização

valor (VSM) com envolvimento de todos os responsáveis da empresa é o início da otimização e eliminação de processos internos que não geram valor ao produto. (SHINGO, 1996; SAVINO; MAZZA, 2015). Com o sistema ⁵*Kanban* assegura-se que as peças corretas estejam disponíveis na hora e na quantidade necessária, funcionando como informação de remoção ou transporte, como um pedido de transferência ou entrega de mercadorias e também como um pedido de trabalho dentro dos processos de produção.

2.4 Modularização

Com o objetivo de desenvolver arquitetura destacáveis, o conceito de modularização surgiu na década de 60. Porém este conceito somente começou a ser aplicado com maior vigor na década de 90 em gestão de operações nas aplicações industriais de computadores e migrando para indústria automobilística.

A modularidade é comparativamente não apenas no design atual dos produtos, mas também no seu uso. A modularidade permite que os consumidores misturem e combinem elementos para criar um produto final que atenda aos seus gostos e necessidades (PANDREMENOS et al., 2009). Por exemplo, para fazer uma cama, os consumidores muitas vezes compram estrados, colchões, travesseiros, lençóis e coberturas de diferentes fabricantes e até de diferentes varejistas. Todos eles se encaixam porque os diferentes fabricantes colocam esses produtos de acordo com os tamanhos padrão. A modularidade em uso pode estimular a inovação no design: os fabricantes podem experimentar de forma independente novos produtos e conceitos.

Se a modularidade traz tantas vantagens, por que nem todos os produtos (e processos) são totalmente modulares? Acontece que sistemas modulares são muito mais difíceis de projetar do que sistemas interconectados comparáveis (BALDWIN; CLARK, 2006). Deve-se conhecer muito sobre o funcionamento interno de todo o produto ou processo, a fim de desenvolver as regras de design visíveis necessárias para fazer os módulos funcionarem como um todo. Eles precisam especificar essas regras antecipadamente. E, embora os projetos no nível modular sigam independentemente, pode parecer que tudo está indo bem, mas problemas com a

⁵*Kanban*: é um sistema que visa aumentar a eficiência da produção e otimizar seus sistemas de movimentação, produção, realização de tarefas e conclusão de demanda.

modularização incompleta ou imperfeita tendem a aparecer apenas quando os módulos se juntam.

A modularização pode ser entendida como uma estratégia para o desenvolvimento e para a produção eficiente de produtos em processos complexos (BALDWIN; CLARK, 2006). Além disso, busca apoiar a gestão da variedade de produtos e da variabilidade de processos por meio da decomposição de produtos e processos complexos em partes mais simples. Essas partes mais simples são denominadas módulos e podem ser combinadas para gerar uma ampla variedade de produtos e de serviços (PANDREMENOS et al., 2009).

Produtos modulares proporcionam percepção de valor agregado no cliente pela evolução conceitual ou tecnológica de um ou mais módulos do produto. Alterando um módulo do produto a engenharia e a manufatura tende a sofrer um impacto menor, em relação a produtos de concepção integral, e entregam a variedade valorizada pelo cliente (MODRAK; SOLTYSOVA, 2018). Os ciclos de vida de um produto ficam cada vez menores com o aumento nas variedades exigidas pelo mercado e exigem uma diferente concepção para a obtenção de economia de escala. A Modularização proporciona esta solução a partir do compartilhamento de módulos semelhantes entre os produtos da empresa.

3 METODOLOGIA

3.2 Estudo de Caso

Neste trabalho foi feito um estudo de caso de caráter exploratório do tipo qualitativo de caso único com mais de uma unidade de análise. O presente estudo de caso foi realizado em empresas de manufatura de linha leve situadas na Alemanha e que possuem suas operações já com os conceitos de indústria 4.0 em pleno funcionamento. Foi escolhida a Alemanha pela importância do país no contexto de aplicação de indústria 4.0, por ser o país iniciador deste conceito e pelos acessos concedidos nas empresas situadas naquele país que deram a viabilidade das análises deste estudo. Nas empresas visitadas foi feito um apanhado geral de todas as características das aplicações das tecnologias da indústria 4.0 nos processos, levantado os dados seguindo o plano de coleta e no final foi feito o cruzamento com a teoria para assim propor diretrizes que nortearão aplicações futuras em processos de manufatura de linha leve.

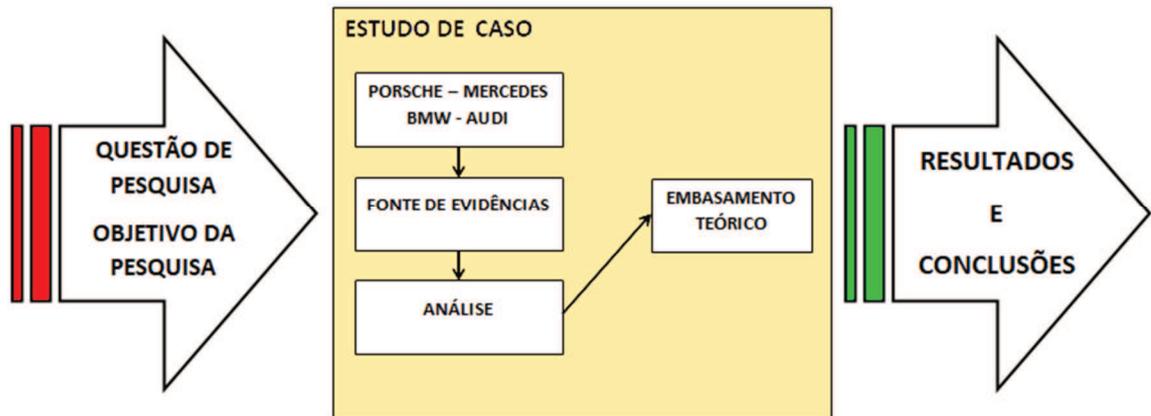
3.3 Procedimentos Metodológicos

Para condução do estudo de caso utilizou-se das seguintes etapas:

- a) Apresentação das questões de pesquisa juntamente com seus objetivos;
- b) Separação das unidades analisadas. Neste caso as empresas Porsche, BMW, Mercedes – Benz e Audi, situadas na Alemanha;
- c) Organização da coleta de dados para obtenção das fontes de evidência do estudo;
- d) Análise dos resultados encontrados;
- e) Pesquisa teórica na literatura;
- f) Descrição dos resultados e a conclusão do estudo.

Este fluxo pode ser visualizado na figura 7.

Figura 6 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborada pelo Autor

3.3.1 Fonte de Evidências

As fontes de evidências planejadas para o estudo seguiram a ordem abaixo:

- a) Documentos coletados na literatura e nos registros internos das empresas estudadas sobre indústria 4.0;
- b) Visita às instalações da fábrica e observações in loco;
- c) Entrevistas com Engenheiros de processo e responsáveis pela administração da fábrica. As entrevistas foram abertas e norteadas pelas seguintes questões:
 - Questão 1: Qual a metodologia de gerenciamento de processo produtivo utilizada?
 - Questão 2: Desta metodologia, quais conceitos aplicados que vocês consideram mais importantes?
 - Questão 3: Como foi a introdução da indústria 4.0 no processo produtivo?
 - Questão 4: O fato de já possuir a aplicação de uma metodologia de gerenciamento do processo foi importante para introdução da indústria 4.0?
 - Questão 5: O que a indústria 4.0 trouxe de maior benefício em sua opinião?
 - Questão 6: Quais foram as maiores dificuldades encontradas ao aplicar essa nova maneira de gerenciamento?
 - Questão 7: Seria possível aplicar os conceitos de indústria 4.0 de maneira direta, sem nenhuma metodologia, como o Sistema Toyota De Produção, anteriormente?

Pelas restrições e confidencialidade dos dados levantados nas empresas, os entrevistados não permitiram gravações em áudio, identificação dos entrevistados e registro oficial das respostas. Com isso fizemos o registro de todas as respostas e observações de modo corrido e em caderno de anotações sem identificação.

3.3.2 Descrição das unidades de análise

Porsche: Situada em Stuttgart na Alemanha, é controlada pelo grupo Volkswagen. A fábrica está entre as mais modernas do mundo, os processos são divididos por etapas dentro de um bloco total da fábrica. A linha de produção situada em Stuttgart produz os modelos 911 e Boxter. Com uma produção diária de 260 carros tem como diferencial a pintura eletrostática de alta secagem, considerada a mais moderna da Europa. Com isso, cada modelo é manufaturado por completo em apenas 40 horas. Atualmente não existe nenhum modelo de automóvel com as mesmas características montados na linha, todos são customizados por cada cliente em uma lista de 452 opções. Possui a indústria 4.0 aplicada totalmente em sua fábrica.

Mercedes Benz: Situada em Sindelfingen na Alemanha, a planta de produção da Mercedes Benz fabrica todos os modelos da marca, porém o estudo foi executado apenas da linha de montagem do modelo Classe S. A produção diária da unidade é de 400 carros/dia, um dos destaques é a interação com a cadeia de suprimentos, seus estoques são baixos e de 2 horas de duração. Os veículos são pintados anteriormente a manufatura, o que leva cerca de 3 dias para entregar o veículo após o pedido. Possui a aplicação da indústria 4.0 em todas os processos situados na Europa, que também são interligados em uma mesma rede de banco de dados.

BMW: Situada em Munique na Alemanha, possui a fabricação de 950 carros/dia. É a mais moderna fábrica da BMW da Europa. Fabrica todos os modelos da marca independente das versões. Possui implementado o sistema de indústria 4.0 e todas as unidades da Europa são interligadas pelo mesmo banco de dados. Na fábrica visitada possui um laboratório de indústria 4.0 para novos lançamentos da marca.

Audi: Situada em Ingolstadt na Alemanha, é controlada pelo grupo Volkswagen. Esta unidade é a de maior capacidade de montagem de modelos diferentes do mundo. Aplicado em totalidade a indústria 4.0, tem capacidade de produzir 1.800 carros/dia. Diferencia-se das demais por também aplicar tecnologias para práticas de

sustentabilidade, como a de geração de energia elétrica pelos impactos das máquinas de estampagem, gerando uma economia de 75% na conta de energia.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Após a coleta de dados e as observações, os resultados foram analisados de forma a identificar o processo de aplicação da indústria 4.0 em cada objeto de estudo. Foi feita uma análise com todas as evidências levantadas e toda a teoria embasada, para pôr fim propormos as diretrizes para uma aplicação de indústria 4.0 em processos de manufatura de veículos de linha leve.

4.1 Descrição dos casos

4.1.1 Porsche

A fábrica da Porsche situada em Stuttgart e fabricante dos modelos 911 e Boxter, que utiliza o Sistema Toyota De Produção como aplicação de gerenciamento do processo, o conceito de SMED foi um dos mais importantes na aplicação atual. A migração para indústria 4.0 foi feita de forma gradual e apoiado com as metodologias já existentes. Segundo o gestor da empresa “O aumento da interação e troca de informações entre as máquinas, processos e pessoas flexibilizaram a fabricação e proporcionaram uma economia de tempo e uma maior eficiência em toda a manufatura”.

A utilização da mão de obra passou a ser direcionada para itens que agregam valor ao produto, como acabamento de bancos, ajustes e conexões de painéis pré-montados juntamente com os controles finais antes da liberação do produto para o cliente. Algumas dificuldades foram encontradas, para a adequação do banco de dados das características de todos os produtos com o nível de customização existente no processo, assim a empresa precisou alterar sua capacidade de armazenamento de dados e velocidade de processamento. Quando um novo pedido é gerado, o código de barras possui todas as características do produto e também conecta as próximas etapas do processo, disparando os pedidos da cadeia de suprimentos automaticamente para cada fornecedor, que recebe e processa cada componente

alocando-o automaticamente em seu planejamento logístico de fornecimento para fábrica. E por meio destes códigos que as máquinas e os funcionários guiam a montagem do produto. Em todos os setores da fábrica há painéis com o tempo padrão de cada atividade e um cronômetro retroativo iniciado a cada tarefa que, em tempo real, mostra a quantidade de tarefas que estão sendo executadas e o percentual de atendimento das metas diárias. Qualquer tipo de perda no processo é quantificado em Euros (perdas ou ganhos), enfatiza o gestor que “é uma medida que todos conhecem, estamos perdendo ou ganhando dinheiro”.

Seguindo os preceitos do *Just in Time*, nenhum carro é fabricado sem que já esteja vendido. Este sistema é eficiente a tal forma que toda a parte da pintura de carrocerias foi modificada para um processo de pintura eletrostático mais moderno de toda Europa, e com isso o ganho obtido faz com que um carro seja fabricado desde o pedido do cliente até sua entrega incrivelmente em apenas 40 horas. Toda a cadeia de suprimentos está sincronizada e conectada ao banco de dados da fábrica, reduzindo o tempo de espera, interligando vendas, fabrica e fornecedores fazendo com que o tempo de estoque seja de 6 horas. Salienta o gestor que "em casos extremos em que alguma catástrofe ocorra, acionamos um helicóptero cargueiro para ir buscar os suprimentos onde ele esteja”.

Todos os projetos de melhorias executados pelos colaboradores estão expostos pelos setores, neles pode-se visualizar todos os ganhos obtidos. “Desta forma todos os colaboradores sabem que existe como melhorar ainda mais o processo e em reverter mais lucro para a nossa família”, justifica o gestor (a designação família é feita comumente dentro da empresa para se referir aos colegas de trabalho).

Figura 7 - Fábrica Porsche Stuttgart



Fonte: (PORSCHE, 2018)

Além da produção de veículos a empresa conta também com a venda de consultoria, projetos de engenharia, projetos de Tecnologia de Informação, projetos para desenvolvimento de fornecedores, laboratórios digitais para desenvolvimento de novas tecnologias. Como exemplo podemos citar um projeto totalmente desenvolvido pela engenharia da Porsche que foi feito para General Motors ganhando o mundo como o automóvel que conhecemos no Brasil como Chevrolet Zafira.

Figura 8 - Controle de qualidade final



Fonte: (PORSCHE, 2018)

Figura 9 - Linha de produção



Fonte: (PORSCHE, 2018)

Figura 10 - Linha de produção



Fonte: (PORSCHE, 2018)

Figura 11 - Linha de Produção



Fonte: (PORSCHE, 2018)

4.1.2 Mercedes Benz

A fabricante de automóveis Mercedes Benz situada em Sindelfingen produz todos os modelos da marca, o acesso foi liberado no processo de fabricação da Classe S. Com produção diária de 400 carros/dia utilizam o Sistema Toyota De Produção como método de gestão do processo. A partir disso, o gerente avalia como sendo conceitos de maior importância o MUDA e o TPM dentro de um escopo geral.

Esta unidade de fabricação da Mercedes é a mais moderna da Europa. A indústria 4.0 foi concebida para melhorar as metodologias já aplicadas, para assim aumentar as margens de lucratividade. Segundo o gestor que acompanhou a visita "com a

conexão entre todas as máquinas do processo e com a integração dos bancos de dados das plantas da Europa, podemos automaticamente suprir os componentes entre unidades caso em caso de uma manutenção preventiva. O direcionamento é feito de forma automática e autônoma, sem prejuízos a nenhum do processo".

Introduzir novas tecnologias foi desafiador, segundo o gestor a padronização de todas as informações entre todas as unidades foi um desafio. Porém no final a interligação feita entre unidades gerou muitos benefícios e reduções de desperdícios, que antes não eram contabilizados.

Sem o Sistema Toyota De Produção aplicado, o gestor não acredita que seja viável a introdução da indústria 4.0, pois o retorno sobre investimento será muito longo. Como exemplo ele citou a operação Brasileira de fabricação de caminhões, onde estão finalizando a implantação do sistema 4.0 de gestão, "tivemos que adaptar totalmente sistema para a realidade de trabalho, cadeia de suprimentos e infraestrutura do país". Ressalva ainda que os conceitos de modularização que apareceram com o tempo foram imprescindíveis para a flexibilidade aplicada ao processo atualmente.

Com tempo de estoque de 2 horas, cada veículo demora de 3 a 4 dias para ser fabricado. A partir do pedido, o sistema de pintura é feito por robôs, a carroceria é pintada e levada aos fornos para cura. O gestor fala sobre a importância da contratação de novos colaboradores "independentemente do nível ou do setor, cada trabalhador contratado passa por nossa escola durante um período de 3 a 4 meses para aprender como é o processo Mercedes Benz de trabalho". Cada setor possui painéis de trabalho com informações pertinentes ao tempo padrão de execução da tarefa e a quantidade de carros já produzida em relação à meta diária. Estes painéis possuem conexões com todos os equipamentos, sinalizando o tempo de execução da tarefa varia para menos de acordo com os atrasos ocorridos nos processos anteriores.

A conectividade existente começa com o cliente, através do programa "Meu Mercedes", o cliente tem acesso no próprio *smartphone* de onde está seu carro na produção e se por acaso quiser modificar as características de montagem *on line* pode fazê-lo, desde que o processo alterado ainda não tenha sido iniciado. Este *App* conecta não somente o cliente com a fábrica, mas cria uma conexão entre o produto, a fábrica e o cliente. Nele o cliente tem acesso a todos os dados do veículo, desgaste de peças, consumo de fluídos, gastos com revisões passadas e futuras, tudo isso trazendo o

conceito de conexão das coisas proposto pelo *IoT*.

É importante lembrar que segundo o gestor, "o futuro da fábrica está em uma palavra: flexibilidade". Para ele os empregados terão um papel fundamental no processo produtivo, independentemente do nível de tecnologia no qual está sendo aplicado, saliento que "Essa tecnologia vem facilitar o trabalho e automatizar a tomada de decisões seguindo as diretrizes de banco de dados. Por exemplo, em um projeto novo todos os itens como espaço interno, acabamento, posição de dirigir, rigidez da carroceria já é todo feito através da fábrica 3D, com isso economiza-se tempo e principalmente dinheiro, além de reduzir as horas para lançamento de um produto".

Figura 12 - Fábrica Mercedes Benz Sindelfingen



Fonte: (MERCEDES, 2018)

Figura 13 - Linha de Produção - Montagem carroceria



Fonte: (MERCEDES, 2018)

Figura 14 - Linha de Produção



Fonte: (MERCEDES, 2018)

Figura 15 - Linha de Produção - montagem componentes inferiores



Fonte: (MERCEDES, 2018)

Figura 16 - Linha de Produção - colocação fluídos



Fonte: (MERCEDES, 2018)

4.1.3 BMW

Localizada em Munique, a fábrica da BMW produz os modelos da série 3. Com produção aproximada de 950 carros/dia, utilizam o Sistema Toyota de Produção como prática de gerenciamento do processo. Dentre os conceitos entende-se como principal o SMED e o VSM, pela importância que os dois tem no gerenciamento de desperdícios, enfatiza o gestor.

O sistema de indústria 4.0 foi um processo de atualização da automação já existente na fábrica. O gestor acredita que "tornando os sistemas inteligentes e autônomos com possibilidades de gerar e acessar dados para uma tomada de decisão precisa e rápida, podemos reaproveitar os empregados para tarefas que diferenciam nossos produtos dos demais". As dificuldades encontradas na aplicação do modelo 4.0 foram às padronizações de medidas e a sincronização da rede de dados para que todas as máquinas pudessem acessar e interpretar os dados de forma correta. Todo o processo de modelagem de lançamentos é feito através de impressão 3D assim como a simulação da linha de produção. "Isso nos trouxe uma economia de tempo e de dinheiro, virtualmente erramos e no processo final na linha de montagem não", ressalta o gestor.

Dentro do processo de fabricação as montagens são divididas em fábricas menores, princípio da modularização, onde os componentes são montados e disponibilizados para a linha de montagem, na hora e tempo de encaixar na base principal. Todo esse processo de leva e traz é feito por carrinhos autônomos que conseguem saber através dos *QR Code*⁷ de cada peça a hora exata de transportá-los. Para que isso fosse possível, todos os chassis e algumas peças foram projetados com medidas padronizadas em seus pontos de fixação e alce.

Sem os conceitos do Sistema Toyota De Produção aplicados no processo o gestor fala que "não seria possível absorver essa nova tecnologia, primeiro porque o banco de dados não estaria completo e não conseguiríamos utilizá-lo com segurança e segundo porque os processos não estariam preparados e organizados o suficiente para suportar essa aplicação". Todos os setores possuem painéis com os tempos

⁷*QRCode*: é um código de barras bidimensional que pode ser facilmente escaneado usando a maioria dos telefones celulares equipados com câmera. Esse código é convertido em texto (interativo), um endereço URI, um número de telefone, uma localização georreferenciada, um e-mail, um contato ou um SMS.

padrões da atividade executada, esse tempo é verde quando está dentro dos padrões estabelecidos e vermelho quando algo está errado. Todas as máquinas estão conectadas e são programadas para se auto ajustar no decorrer do processo, tudo sem a interferência humana.

Figura 17 - Fábrica BMW Munique



Fonte: (BMW, 2018)

Figura 18 - Linha de Produção - Estamparia



Fonte: (BMW, 2018)

Figura 19 - Linha de Produção - soldagem carroceria



Fonte: (BMW, 2018)

Figura 20 - Linha de Produção - pintura



Fonte: (BMW, 2018)

Figura 21 - Linha de Produção - transporte autônomo de componentes



Fonte: (BMW, 2018)

4.1.4 Audi

A fábrica da Audi localizada em Ingolstadt produz todos os modelos da linha, com uma produção diária de 1.800 carros/dia, possuem o Sistema Toyota De Produção como forma de gerenciamento do processo. Os principais conceitos que consideram importantes na aplicação é o ⁸*Poka-yoke* e o SMED, em todas as estações de montagem é utilizado a conceito *Poka-yoke* nas verificações padrões de qualidade.

Para o gestor os conceitos de gestão da indústria 4.0 "facilitaram o processo de decisão automático, principalmente no setor de controle de qualidade, onde automaticamente as câmeras fotografam todas as partes do carro e comparam com fotos padrões imprimindo em vermelho as etiquetas de código de barras caso haja algo fora do estabelecido".

Todo o processo de estamparia e de injeção possuem as máquinas interligadas com outras unidades de fabricação na Europa, fazendo uma troca de estoque se for necessário, tudo sem a intervenção humana, a máquina de uma unidade manda um alerta para outra máquina dizendo que entrará em manutenção. No momento da compra o pedido é direcionado automaticamente para a unidade de fabricação que possui condições de atender em menor tempo a demanda, tudo isso levando em conta a cadeia de suprimentos e a logística. Possuem 2 horas de estoque de componentes da fábrica, todo o banco de dados é igualmente interligado com os fornecedores e automaticamente os pedidos são efetuados conforme a compra de produtos. Os indicadores do processo são visualizados em cada estação de trabalho e interligados com o banco de dados atualizando-se automaticamente a cada segundo. Existe também uma visualização geral em um painel maior localizado no início do processo que, através do código de barras do produto, é possível visualizar em qual etapa do processo ele está. O gestor comenta que "a ideia é ter o cliente próximo ao processo, sabendo onde está seu produto e quando ficará pronto. Queremos total integração com o comprador".

A maior dificuldade enfrentada na aplicação da indústria 4.0 foi à padronização das informações e a unificação do banco de dados, que conforme o gestor, não seria possível sem a modularização da linha.

⁸ Poka-yoke é um dispositivo à prova de erros destinado a evitar a ocorrência de defeitos em processos de fabricação ou na utilização de produtos.

A preocupação e a utilização das tecnologias para sustentabilidade também são pensadas, 75% da energia da fábrica é gerada por turbinas acionadas pelo impacto das máquinas de estampagem. As máquinas trabalham 24 horas e são totalmente conectadas com o restante do processo.

Figura 22 - Fábrica Audi Ingolstadt



Fonte: (AUDI, 2018)

Figura 23 - Linha de Produção



Fonte: (AUDI, 2018)

Figura 24 - Linha de Produção - Pintura



Fonte: (AUDI, 2018)

Figura 25 - Drone transportando peças especiais



Fonte: (AUDI, 2018)

Figura 26 - Linha de Produção - Saída para testes



Fonte: (AUDI, 2018)

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA

Todas as empresas objetos do estudo exploratório possuem aplicado para gestão do processo o Sistema Toyota de Produção. O conceito mais importante para ambas foi o SMED. A tendência de atualização do Sistema Toyota De Produção foi vista em todas elas por meio da aplicação dos conceitos de modularização. Outro fator importante foi o cuidado que todas as fábricas possuem em disponibilizar dados e informações para os funcionários em tempo real, cada uma de sua maneira. O conceito de *Poka-yoke* pode ser visualizado com maior intensidade na empresa Audi, em todas as verificações de qualidade os funcionários utilizavam os dispositivos passa-não-passa.

A aplicação dos conceitos de indústria 4.0 pode ser percebida em todas as empresas estudadas. Indiscutivelmente os conceitos da indústria 4.0 foram amplamente fomentados na Alemanha. A busca por maiores margens e a flexibilização dos processos de manufatura no nível visualizado, só são possíveis com a aplicação de tais tecnologias. A modificação do mercado onde o cliente tem cada dia um papel mais importante dentro da cadeia é algo que tem abrangência unanime em todas as montadoras visitadas. Todos preocupados com a redução de custos e de tempos de processamento no processo.

Todas as tecnologias principais para indústria 4.0 foram identificadas nas visitas, IoT, BDA e CPS e estão presentes em todos os processos estudados, sendo que a total interação da cadeia de suprimentos só foi possível pela aplicação de tais tecnologias.

Nas empresas objeto do estudo exploratório percebemos uma linearidade das aplicações, seguindo um pressuposto parecido. Na figura 28, foi demonstrado essa linearidade.

Tabela 2: Comparativo das Aplicações

	STP	MODULARIZAÇÃO	TECNOLOGIAS HABILITADORAS I4.0	TECNOLOGIAS PRINCIPAIS I4.0
PORSCHE	SMED	DO PRODUTO	NÃO IDENTIFICADO	IOT / BDA / CPS
MERCEDES BENZ	MUDA TPM	DO PRODUTO	IMPRESSÃO 3D SMART FACTORY	IOT / BDA / CPS
BMW	SMED VSM	DO PRODUTO	SMART FACTORY	IOT / BDA / CPS
AUDI	Poka-yoke VSM	DO PRODUTO	IMPRESSÃO 3D	IOT / BDA / CPS

Fonte: Elaborado pelo Autor

A tabela apresenta o comparativo das aplicações observadas nas unidades de análise do estudo de caso. Na primeira coluna estão todas as unidades de análise devidamente identificadas. Na segunda estão as principais práticas do Sistema Toyota de Produção que os entrevistados consideraram fundamentais em seus processos e também foram observadas com evidência nas visitas nos processos. Na Terceira coluna a existência de modularização dos produtos, conforme foi visto na prática com a utilização e montagem feita por partes em outras estações de fabricação e que acoplavam na linha principal durante o processamento. Na coluna seguinte está descrito as tecnologias habilitadoras levantadas nas observações e entrevistas efetuadas. Por fim está descrito as tecnologias principais presentes em cada unidade de análise e que foi observada durante o estudo.

4.3 DISCUSSÕES

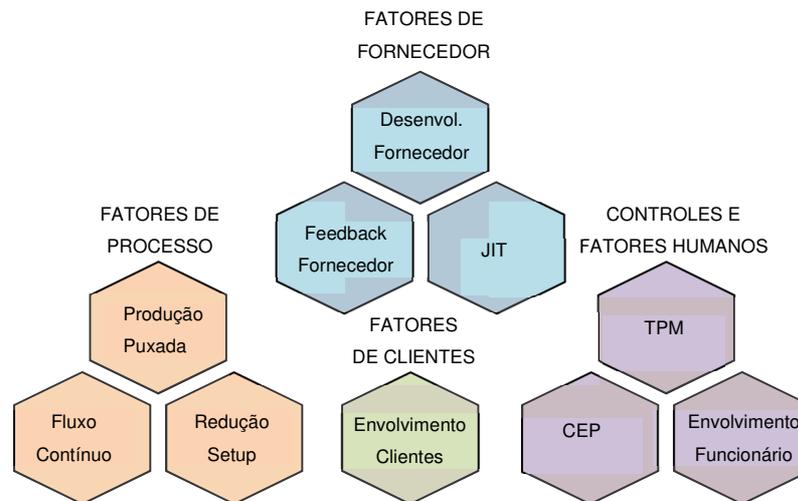
Os conceitos do Sistema Toyota de Produção nasceram de aplicações práticas orientadas para identificação de valores percebidos pelo cliente no processo com um fluxo contínuo e sem desperdícios. (SHAH et al., 1990). Toda essa estrutura de funcionamento foi descrita em dez fatores identificados por Shah (2007) em seu estudo de definição conceitual e estrutural do STP aplicado em indústrias. Neste estudo os autores basearam-se nos conceitos chaves do Sistema Toyota De Produção e sua importância dentro da cadeia produtiva. De forma a identificar quais

os elementos que seriam capazes de transformar o processo de produção. Esses fatores foram separados da seguinte forma:

- a) *Feedback* Fornecedor: Diretamente ligado no desempenho de produtos e serviços. A comunicação deve ser eficaz para uma correta troca de informações;
- b) *Just in Time*: Quantidade certa de material no momento certo;
- c) Desenvolvimento de Fornecedor: Evita a inconsistência ou incompatibilidade dos produtos durante o fornecimento;
- d) Envolvimento do Cliente: Como principais condutores de um negócio, suas necessidades e expectativas são prioritários;
- e) Produção Puxada: Interligada pelo *Kanban e JIT*, opera com produção de estoque zero. Sendo o princípio chave do conceito de eliminação de desperdícios;
- f) Fluxo contínuo: Fluxo produtivo sem paradas ou interrupções;
- g) Redução tempo de *Setup*: Troca de ferramentas das máquinas para produção de diferentes produtos no menor tempo possível;
- h) Controle Estatístico do Processo (CEP): Controle dos defeitos do processo, contribuindo para que nenhum produto seja vendido com defeito;
- i) Manutenção Produtiva Total (TPM): Evitar manutenções corretivas ou paradas por quebra de equipamento;
- j) Envolvimento dos funcionários: Capacitar os funcionários de modo a contribuir globalmente com a empresa.

Os dez itens citados também foram validados por uma série de pesquisas sobre esse mesmo tema em processos produtivos de indústrias de manufatura fornecendo uma definição mais objetiva das relações do Sistema Toyota De Produção com as variáveis do processo. (HASLE et al., 2012). Nota-se que os itens possuem relações com vários elementos do processo, pessoas, fatores internos e externos. (DORA et al., 2013). Separando os fatores e agrupando cada um dos dez itens de acordo com suas relações diretas obtemos uma separação demonstrada na figura 28.

Figura 27 – Agrupamento das dimensões do Sistema Toyota De Produção



Fonte: (VALDEZ et al., 2015) adaptado pelo Autor.

Os fatores de processo se preocupam em reduzir o tempo de troca de ferramenta, deixar o fluxo contínuo e fazer uma produção puxada. O fator cliente está preocupado em envolver os clientes e satisfazer suas necessidades. Os fatores de controle e humano preocupam-se em controlar estatisticamente a qualidade do processo, não deixar a produção ser interrompida por falhas em equipamentos e envolver os funcionários nas atividades. Por fim os fatores de fornecedores desenvolvem os abastecedores, fluindo a comunicação entre o processo, a fábrica e operacionalizam o *JIT*.

Integrando o Sistema Toyota De Produção e com as tecnologias da indústria 4.0, percebemos sua influência direta nos dez fatores e em seus agrupamentos acima citados. As tecnologias atuam de forma a facilitar essas operações. (SANDERS; WULFSBERG, 2015).

Os fornecedores precisam receber um retorno rápido, imediato e conciso de seus produtos e serviços prestados. Dados de produtos e processos de produção são compartilhados, além dos limites de indústrias individuais, permitindo uma sincronização com os fornecedores. (BRETTEL et al., 2014). Os mecanismos tradicionais de comunicação entre os parceiros em um negócio são renovados através de computação em nuvem e serviços de computação móvel. *Smartphones* e *tablets* conectados à internet proporcionando uma rápida e fácil integração e um melhor relacionamento entre os parceiros de negócios (SCHMIDT et al., 2015). Assim mecanismos de colaboração, sincronização e melhor comunicação servem como

facilitadores para manter o *feedback* do fornecedor eficaz.

Como pilar mais importante do Sistema Toyota De Produção, o *Just in Time* eleva o estoque a um nível perto de zero sem a necessidade de desperdícios com armazenamento. Mas em sistemas logísticos atuais, esta entrega instantânea nem sempre é possível devido a inúmeras razões, tais como o estado incompleto dos bens que estão sendo enviados, incompatibilidade entre os bens necessários e transportados e atrasos inesperados durante a transferência de mercadorias. A Internet das Coisas equipada com diferentes dispositivos integrados de comunicação, gerenciam informações sobre mercadorias transportadas fazendo cada item já armazenado possível de ser rastreado desde sua origem até seu destino com um status *on-line* de sua rota. Um fornecedor tem poder para visualizar quando exatamente seus bens irão chegar ao processo, aumentando assim a credibilidade e agregando valor aos clientes (CABALLERO et. al., 2013). No caso de uma entrega não ser possível devido a algum congestionamento de tráfego ou qualquer outra restrição, um alocador de tarefa inteligente iniciaria um processo de negociação simulada, onde outra ordem de produção seria alocada no lugar, de modo a não parar o processo. O fornecedor saberia o tempo exato da entrega de seu produto ao cliente, aumentando sua credibilidade. (BOSE; PAL, 2005; CABALLERO et al., 2013).

Para criar um processo e melhorá-lo continuamente, todos os parceiros na cadeia de abastecimento tem que se desenvolver junto com o fabricante. Se apenas o fabricante se esforçar para aplicar as práticas do Sistema Toyota De Produção e os fornecedores continuarem a seguir práticas operacionais antigas, uma incompatibilidade de produtos e fluxo de informações levaria a efeitos adversos. Na Indústria 4.0, redes tecnológicas são estabelecidas entre diferentes parceiros de cooperação, estas redes ajudam na partilha de ativos intangíveis, como a investigação e o conhecimento na forma de dados e informações, bem como recursos tangíveis, como máquinas, equipamentos e especialistas humanos.

Estes recursos são parte de organizações diferentes, mas agem no sentido de alcançar um objetivo comum. Tais organizações virtuais beneficiam as empresas fornecedoras em diferentes aspectos, não apenas como modelo de negócio, mas também em uma cooperação mais sinérgica de desenvolvimento do produto até a produção e vendas. Neste ambiente, a ênfase é sobre a gestão da informação para o desenvolvimento de fornecedores tornando-o parte do fabricante. (TEPES et al.,

2015).

Muitos provedores de soluções de tecnologia de automação estão dispostos a normalizar as suas entidades individuais e protocolos de comunicação, cooperando assim para o objetivo comum da Indústria 4.0. (WEYER et al., 2015). Assim, através de organizações virtuais e interfaces padronizadas, fornecedores ficam sincronizados com os fabricantes.

O modelo de fornecimento de soluções prontas para o cliente está defasado, sendo ele fundamental para a saúde da empresa e dos negócios. Sua participação ativa e sua associação com as fases do processo estão aproximando-os cada vez mais dos produtos. Isto fornece um sistema onde os clientes passam a ser informados sobre a fase de produção real e sua conclusão.

O Desdobramento da Função Qualidade (QFD), limitado na quantidade de exigências dos clientes e seus requisitos de características do produto tem sido facilitado com a chegada do Big Data, com a análise de grandes quantidades de dados e cálculos complexos sendo feito rapidamente, a identificação dos clientes e seus comportamentos fornecem globalmente produtos e soluções mais sustentáveis. (SHROUF; ORDIERES; MIRAGLIOTTA, 2014).

Em um processo de produção normal, a pressão em produzir continuamente pode forçar a fábrica a aumentar seus níveis de estoque. (MONDEN, 2011). Um cálculo errado feito pela programação da produção pode ocasionar um fornecimento incorreto de materiais para linha de montagem, afetando gravemente o sistema puxado. Nas aplicações do Sistema Toyota De Produção o *Kanban* é o método utilizado para gerenciar a produção puxada. Ao utilizar tecnologias de informação e comunicação, um sistema de *e-Kanban* reconhece caixas vazias automaticamente por meio de sensores e aciona o reabastecimento. O nível de estoque também pode ser monitorado e os dados podem ser transmitidos a um sistema de controle de estoque em tempo real evitando falhas no controle de produção por falta de material. (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015). Sistemas de informação e de comunicação executam essas operações de rastreamento através de identificação por radiofrequência (RFID) para monitorar o status, número e localização dos lotes de material. As alterações nos horários também podem ser continuamente monitoradas assim como parâmetros do *Kanban* podem ser atualizados através destas tecnologias. (KOURI; SALMIMAA; VILPOLA, 2008).

Cada processo precisa agregar valor e resultar em um fluxo contínuo das operações. Em muitos casos, uma interrupção no fluxo surge devido a erros na contagem de inventário, a escassez de capacidade e sistemas de controle centralizado que levam a atrasos na tomada de decisões. Soluções propostas pela Indústria 4.0 empregam a tecnologia RFID para eliminar erros associados com o inventário. O rastreamento é feito em tempo real e a resposta é exata sobre a quantidade e cada peça contribuindo para redução do nível de estoque.

Por exemplo, um fabricante pode acompanhar a capacidade e progresso da ordem de um fornecedor, e ajustar sua própria produção em caso de atrasos. (WIENDAHL; LUTZ, 2002). Com a aplicação de sistemas inteligentes o manuseio de materiais, planejamento e controle modificou a tomada de decisão passando de estruturas hierárquicas centralizadas para descentralizadas. Wan et al., (2014) propôs um método de distribuição de material baseado na IOT num ambiente de produção JIT para um processo de montagem experimental. Um modelo matemático para a distribuição de material com base no layout de produção e informações relevantes em cada estação foi construído, com auxílio de um algoritmo de otimização inteligente, resultou em um plano de distribuição de material otimizado. Ele eliminava a interrupção, a espera na linha de produção e os atrasos no cronograma, permitindo um fluxo contínuo e um controle em tempo real dos níveis de estoque e produção.

Como as necessidades dos clientes em obter um produto customizado, o Sistema Toyota De Produção popularizou o conceito de *Single Minute Exchange of Die (SMED)*, reduzindo drasticamente os tempos de trocas de ferramentas no processo. Porém reduzir cada vez mais os tempos de troca levou a introdução de conceitos de modularização conjuntamente. Baseado na divisão do processo principal em sub-montagens, ela proporcionou a não interrupção do processo principal para troca de ferramentas. (MODRAK; SOLTYSOVA, 2018). Com os conceitos *plug and play* da indústria 4.0, os sistemas são equipados com uma auto otimização e um comportamento de aprendizagem em cada máquina, o que permitiu às empresas adaptar as máquinas de acordo com os produtos e produzir pequenos lotes. As operações são executadas em partes e carregadas para a montagem principal por meio de etiquetas de RFID, que identificam todas as características do produto. Isto resulta em alterações rápidas em suas montagens. (BRETTEL et al., 2014). Conseqüentemente o tempo de configuração de produto e processo é reduzido

através desta otimização e comunicação entre máquinas e peças.

As falhas de máquinas durante a produção provocam efeitos negativos na programação de produção. Esforços em manutenção preventiva e periódica procuram reduzir a interrupção do processo por avaria de equipamento. Em uma fábrica inteligente com máquinas interconectadas com os sistemas de informação e comunicação, quando uma máquina quebra, ele envia notificações de erro ao respectivo pessoal de chão de fábrica e de manutenção. O trabalhador de manutenção, em seguida, verifica o código de erro para soluções e obtém ferramentas e peças necessárias para a reparação. Enquanto isso, o sistema de execução de fabricação pode reprogramar os trabalhos para reduzir o impacto desta quebra. (LUCKE; CONSTANTINESCU; WESTKÄMPER, 2008). Com as tecnologias de análise e o Big Data, as máquinas podem auto avaliar e utilizar dados de outros equipamentos para evitar paradas por manutenção corretiva. (LEE; KAO; YANG, 2014). A capacidade de antecipar uma potencial parada e identificar sua causa raiz precisa ser desenvolvida nos sistemas de controle. Por exemplo, os sistemas de planejamento de recursos empresariais incluíram quadros de referência gerais para manutenção preditiva. Ele integra dados da máquina, dados de ERP, dados sensoriais e algoritmos de previsão. (HADDARA; ELRAGAL, 2015). Assim, a comunicação das máquinas de trabalho, avaliação de automanutenção e sistema de controle de manutenção preditiva melhora significativamente a manutenção produtiva e preventiva total na fábrica.

A qualidade dos produtos é de primordial importância em qualquer indústria transformadora. Os processos devem estar sempre sob controle. Diversas técnicas foram desenvolvidas no campo da gestão da qualidade para avaliar os processos. No cenário da Indústria 4.0, produtos inteligentes trazem detalhadamente as sequencias de operações no qual devem passar. Esta informação é repassada, por meio do RFID automaticamente para as máquinas, mostrando qual a melhor arranjo de operação e visualização, proporcionado a detecção e correção automática de possíveis erros no processo. (SCHUH et al., 2015). Por meio da IOT, a integração dos processos dentro da cadeia de valor, combina inteligência de negócios com a gestão do processo acrescentando o valor percebido pelos clientes que conseguem interagir com o produto de forma instantânea.

A capacitação dos funcionários é enfatizada pelo Sistema Toyota De Produção,

são eles que realmente trabalham na criação de produtos e serviços. Falta de avaliação, trabalho monótono, desvios de funções e falta de diálogo com a liderança contribuem para um ambiente hostil de trabalho. (SANDERS; WULFSBERG, 2015). No ambiente de trabalho da Indústria 4.0, trabalhadores de produção fornecem *feedback* imediato das condições de produção através de dados em tempo real de seus próprios *smartphones* e *tablets*. Todos estão equipados com um dispositivo portátil inteligente, que é integrado com a rede da empresa, o que possibilita um ambiente extremamente confortável para os funcionários para gravar as suas preocupações e *feedback* no local de trabalho (SCHUH et al., 2015). O gestor é capaz de verificar a disponibilidade e alocar os trabalhadores a diferentes operações através dos dispositivos inteligentes portáteis (SPATH et al., 2013). Neste contexto, trabalhos repetitivos e monótonos são repassados para equipamentos autônomos e os funcionários são conduzidos para tarefas que realmente agregam valor ao produto.

4.3.1 Preposição do modelo de introdução

Percebe-se a conexão em todo o contexto de introdução de tecnologias 4.0, o Sistema Toyota De Produção em conjunto com a modularização. O modelo “Y” proposto por Scheer (2015) reflete claramente todas essas conexões, sendo um modelo de aplicação com todos os itens já conectados. Seguindo a linha de tempo onde o Sistema Toyota De Produção organiza e melhora os processos, a modularização traz a flexibilidade em montagem e a indústria 4.0 e suas tecnologias avançam as práticas do Sistema Toyota De Produção. A tabela 3 demonstra essa relação direta de solução.

Tabela 3 – Conexão entre Sistema Toyota de Produção e Indústria 4.0

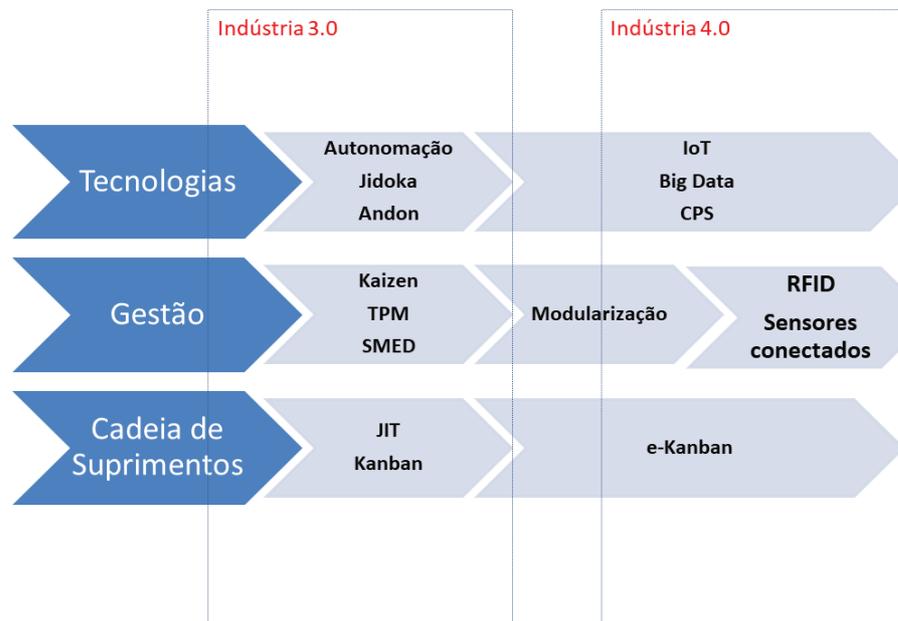
DIMENSÕES STP	DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO PLENA DO STP	SOLUÇÕES PROPOSTAS PELA APLICAÇÃO DA I4.0
FEEDBACK FORNECEDOR	POR EXPERIÊNCIA; RECURSOS LIMITADOS; DIFERENÇA DE MODELOS DE NEGÓCIOS, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE DADOS	FABRICAÇÃO COLABORATIVA; MECANISMO DE SINCRONIZAÇÃO E COMUNICAÇÃO DE DADOS
JIT	ATRASOS STATUS DE ENVIO QUANTIDADES TRANSPORTADAS	RFID RASTREAMENTO ON LINE REALOCAÇÃO PROCESSO

DESENVOLVIMENTO FORNECEDOR	RECURSOS INADEQUADOS E CONHECIMENTOS COMPATIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS ENTRE ORGANIZAÇÕES	INTERFACES PADRONIZADAS; ORGANIZAÇÕES VIRTUAIS - A COOPERAÇÃO SINÉRGICA;
ENVOLVIMENTO CLIENTE	POUCA FLEXIBILIDADE PARA ALTERAÇÃO DE PRODUTO RELAÇÃO ENTRE NECESSIDADES E FUNÇÕES ADQUIRIR NECESSIDADES EXATAS DO CLIENTE	IOT; ANÁLISE DE UTILIZAÇÃO; CUSTOMIZAÇÃO
PRODUÇÃO PUXADA	INCORRETA QUANTIDADE DE MATERIAL FORNECIDO; MUDANÇAS NO CRONOGRAMA DE PRODUÇÃO	MONITORAMENTO REPOSIÇÃO DE MATERIAL; RASTREAMENTO DE PROGRAMAÇÃO; e-KANBAN
FLUXO CONTÍNUO	ERROS NA CONTAGEM DE INVENTÁRIO; ESCASSEZ DE CAPACIDADE; CONTROLE CENTRALIZADO	CONTROLE DE ESTOQUE EM TEMPO REAL; TOMADA DE DECISÃO DESCENTRALIZADA
SMED	BASEADO NO CONHECIMENTO	AUTO-OTIMIZAÇÃO E APRENDIZADO DE MÁQUINA; COMUNICAÇÃO DA PEÇA COM A MÁQUINA
TPM	SEM CONTROLE DE AVARIA DE MÁQUINAS; TEMPO PARA ENCONTRAR PROBLEMA DESCONHECIDO	COMUNICAÇÃO MÁQUINA DE TRABALHO; SISTEMA DE CONTROLE DE MANUTENÇÃO PREDITIVA; AVALIAÇÃO AUTO-MANUTENÇÃO;
CEP	INCAPACIDADE OU DESCONHECIMENTO PARA CONTROLAR AS VARIÁVEIS	HOMEM-MÁQUINA RASTREAMENTO PROCESSO INTERFACE; COMUNICAÇÃO PEÇA-MÁQUINA; MELHORADA, INTEGRAÇÃO E GESTÃO;
ENVOLVIMENTO FUNCIONÁRIOS	MECANISMOS DE FEEDBACK IMPRÓPRIAS; PRÁTICAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO; MONOTONIA NO TRABALHO	DISPOSITIVOS DE FEEDBACK INTELIGENTES; INTERFACE MELHORADA HOMEM-MÁQUINA

Fonte: Elaborado pelo Autor

No processo descrito acima, as aplicações consistem em inicialmente fazer uma análise dos conceitos aplicados pelo Sistema Toyota De Produção e sua maturidade. Após esta análise e das aplicações estarem bem consolidadas no processo inicia-se a segunda etapa, a aplicação dos conceitos de modularidade, pôr fim a introdução das tecnologias principais e tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

Figura 28 - Processo de Introdução da Indústria 4.0



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 4: Relação Sistema Toyota de Produção e Indústria 4.0

	STP	I4.0
Cliente	Relação Indireta	Relação Direta
Gestão	Redução de desperdícios	Redução de desperdícios Flexibilidade do processo
Controle de Produção	KAIZEN TPM Padronização	Cyber Physical Systems RFID Digitalização
Princípios	JIT Automação	Flexibilidade Ciclo de vida Cyber Physical Systems

Fonte: Elaborada pelo autor

Teoricamente podemos perceber que o Sistema Toyota De Produção inicial obteve várias melhoras no processo que foi aplicado. A eliminação dos desperdícios colocou as empresas em melhores margens no mercado competitivo. A introdução dos conceitos de modularização no Sistema Toyota De Produção auxiliou na diversificação de opções. Em sistemas de manufatura de veículos leves isso significou aumentar a gama de opções para os clientes sem alterar a eficiência do processo.

A terceira introdução aos métodos do Sistema Toyota De Produção foram as

tecnologias, que hoje são de fácil acesso e menores custos, que propiciaram uma nova visão econômica. Tais tecnologias introduziram e esse método uma rapidez nas tomadas de decisão e de modo automático. Os processos produtivos modernos e tecnológicos aproximaram toda a cadeia de suprimentos da linha de produção e flexibilizou a linha de produção de tal forma aos clientes customizarem os produtos de maneira única.

Figura 29 - Diretrizes para Aplicação



Fonte: Elaborada pelo autor

A figura 30 demonstra o amadurecimento do processo que inicia através a aplicação ou verificação da maturidade dos conceitos do Sistema Toyota de Produção aplicados aos processos. Em seguida a aplicação dos conceitos de modularização para flexibilizar a montagem dos produtos. Por fim a aplicação das tecnologias principais e habilitadoras da indústria 4.0 de forma a solucionar os problemas existentes na aplicação dos conceitos iniciais e incorporar ao processo a agilidade e autonomia na tomada de decisão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um primeiro momento a exploração na Alemanha foi executada da forma de como as tecnologias e a indústria 4.0 foram introduzidas nas empresas de manufatura linha leve situadas naquele país, e os conceitos que estavam sendo aplicados para gestão do processo e como era sua relação no contexto geral estudado. Possibilitaram pesquisas na teoria como esses conceitos eram tratados e como eram aplicados de forma individual. E por fim anexar as observações práticas com o embasamento teórico para propor diretrizes de aplicação da indústria 4.0 em empresas de manufatura de linha leve.

Nos estudos feitos em campo, em todos os casos, foi possível ver a conexão entre o Sistema Toyota De Produção, a modularização e a adoção de tecnologias 4.0 para viabilizar e melhorar o que já estava sendo aplicado. É importante considerar a interação governamental do país para viabilizar tais aplicações, disponibilizando recursos e pesquisas aplicadas diretamente nas indústrias, como também dados estatísticos do governo alemão mostram que o número de empregos tem uma projeção de 6% de crescimento no decorrer de 10 anos de aplicação. Principalmente em áreas de engenharia e mecatrônica, comprovando assim que a tecnologia não substitui o homem, mas sim melhora seus resultados.

Não há como parar esse avanço tecnológico, a melhora dos processos e a inserção das empresas na competitividade global, obrigatoriamente necessita da aplicação das tecnologias 4.0 para viabilizar melhores resultados.

A indústria 4.0 aparenta ser um processo de melhoria continua. Com a inserção de tecnologias inovadoras e atuais contribuindo para que os processos obtenham melhorias ainda maiores adicionados de flexibilidade. Essas melhorias vão desde a mudança do modelo de negócio até a conectividade da produção, clientes e cadeia suprimentos com uso de tecnologias habilitadoras.

Para comprovar os achados deste estudo, sugere-se a aplicação em um estudo que contemple a aplicação das diretrizes propostas em um caso real, validando as preposições encontradas.

REFERÊNCIAS

ALMADA-LOBO, F. **The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (MES)**. Journal of Innovation Management, v. 3, n. 4, p. 16–21, 2016.

ATZENI, Eleonora; MALLIA, Antonio. **L’impatto di Industry 4.0**, 2015.

BALDWIN, Carliss Y.; CLARK, Kim B. **Modularity in the design of complex engineering systems**. In: Complex engineered systems. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. p. 175-205.

BAUERNHANSL, Thomas; SCHATZ, Anja; JÄGER, Jens. **Komplexität bewirtschaften–Industrie 4.0 und die Folgen**. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, v. 109, n. 5, p. 347-350, 2014.

BENBASAT, Izak; GOLDSTEIN, David K.; MEAD, Melissa. **The case research strategy in studies of information systems**. MIS quarterly, p. 369-386, 1987.

BENGIO, Y.; GOODFELLOW, I. J.; COURVILLE, A. **Deep learning**. Nature, v. 521, p. 436–444, 2015.

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

CABALLERO-GIL, Cándido et al. **IoT application in the supply chain logistics**. In: **International Conference on Computer Aided Systems Theory**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 55-62, 2013.

CHIARINI, A.; VAGNONI, E. **World-class manufacturing by Fiat: Comparison with Toyota production system from a strategic management, management accounting, operations management and performance measurement dimension**. International Journal of Production Research, v. 53, n. 2, p. 590-606, 2015.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de Pesquisa em Administração-12ª Edição**. McGraw Hill Brasil, 2016.

CRESWELL, John W.; GARRETT, Amanda L. **The “movement” of mixed methods research and the role of educators**. South African journal of education, v. 28, n. 3, p. 321-333, 2008.

DENNIS, P. **Lean Production simplified: a plain-language guide to the world’s most powerful production system**. Crc press, 2016.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. Tradução: Rosalia Angelita Neumann Garcia. – Porto Alegre: Bookman, 2016.

DORA, Manoj et al. **Operational performance and critical success factors of lean manufacturing in European food processing SMEs**. Trends in Food Science & Technology, v. 31, n. 2, p. 156-164, 2013.

EISENHARDT, K. M. **Building theories from case study research**. Academy of management review, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

EQUI, M. A.; JUNIOR, H. P. **Revisão bibliográfica: o lean manufacturing na indústria automotiva**. , 2016.

FALLER, C.; FELDMÜLLER, D. **Industry 4.0 learning factory for regional SMEs**. Procedia CIRP, v. 32, p. 88–91, 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Estudo de caso**. Atlas, 2009.

HADDARA, Moutaz; ELRAGAL, Ahmed. **The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future**. Procedia Computer Science, v. 64, p. 721-728, 2015.

HARTWELL, R. M. **The Industrial Revolution and economic growth**. Taylor & Francis, 2017. v. 4.

HASLE, Peter et al. **Lean and the working environment: a review of the literature.** International Journal of Operations & Production Management, v. 32, n. 7, p. 829-849, 2012.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industrie 4.0 scenarios.** In: SYSTEM SCIENCES (HICSS), 2016 49TH HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2016. Anais. . . 2016. p.3928–3937.

HIRSCH-KREINSEN, Hartmut. **Wandel von Produktionsarbeit Industrie 4.0 .** WSI-Mitteilungen, v. 67, n. 6, p. 421-429, 2014.

JÚNIOR, M. F. F. **A terceira revolução industrial e o novo paradigma produtivo: algumas considerações sobre o desenvolvimento industrial brasileiro nos anos 90.** Revista da FAE, v. 3, n. 2, 2017.

KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. **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.

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

KOURI, I. A.; SALMIMAA, T. J.; VILPOLA, I. H. **The principles and planning process of an electronic kanban system.** In: Novel algorithms and techniques in telecommunications, automation and industrial electronics. Springer, Dordrecht, 2008. p. 99-104.

LACERDA, A. P.; XAMBRE, A. R.; ALVELOS, H. M. **Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry.** International Journal of Production Research, v. 54, n. 6, p. 1708–1720, 2016.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. **A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems.** Manufacturing Letters, v. 3, p. 18–23, 2015.

LEE, Jay; KAO, Hung-An; YANG, Shanhu. **Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment**. *Procedia Cirp*, v. 16, p. 3-8, 2014.

LUCKE, Dominik; CONSTANTINESCU, Carmen; WESTKÄMPER, Engelbert. **Smart factory a step towards the next generation of manufacturing**. In: *Manufacturing systems and technologies for the new frontier*. Springer, London, 2008. p. 115-118.

MILES, Matthew B. et al. **Qualitative data analysis: An expanded sourcebook**. sage, 1994.

MODRAK, V.; SOLTYSOVA, Z. **Process modularity of mass customized manufacturing systems: principles, measures and assessment**. *Procedia CIRP*, v. 67, p. 36–40, 2018.

MODRAK, Vladimir; SOLTYSOVA, Zuzana. **Process modularity of mass customized manufacturing systems: principles, measures and assessment**. *Procedia CIRP*, v. 67, p. 36-40, 2018.

MONDEN, Yasuhiro. **Toyota production system: an integrated approach to just-in-time**. Productivity Press, 2011.

NALLUSAMY, S. **Frequency analysis of lean manufacturing system by different critical issues in Indian automotive industries**. In: *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH IN AFRICA*, 2016. Anais. . . 2016. v. 23, p. 181–187.

NALLUSAMY, S. **Lean manufacturing implementation in a gear shaft manufacturing company using value stream mapping**. In: *International Journal of Engineering Research in Africa*. Trans Tech Publications, 2016. p. 231-237.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Trad. Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PANDREMENOS, J.; PARALIKAS, J.; SALONITIS, K.; CHRYSOLOURIS, G. **Modularity concepts for the automotive industry: a critical review**. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, v. 1, n. 3, p. 148–152, 2009.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª edição**. Editora Feevale, 2013.

RAMSAUER, Christian. **Industrie 4.0 – Die Produktion der Zukunft**. *WINGbusiness*, v. 3, n. 2013, p. 6-12, 2013.

REN, W.; WEN, J.; GUAN, Y.; HU, Y. **Research on assembly module partition for flexible production in mass customization**. *Procedia CIRP*, v. 72, p. 744–749, 2018.

ROBINSON, A. **Modern approaches to manufacturing improvement: the shingo system**. Routledge, 2017.

ROTHER, J.; SHOOK, M. 2009. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2009.

ROY, Daniel; MITTAG, Peter; BAUMEISTER, Michael. **Industrie 4.0–Einfluss der Digitalisierung auf die fünf Lean-Prinzipien–Schlank vs. Intelligent**. *Productivity Management*, v. 20, n. 2, p. 27-30, 2015.

SANDERS, Adam; WULFSBERG, Jens. **Industrie 4.0: Shopfloor Management im Wandel: Konzeptionelle Handlungsempfehlungen**. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, v. 110, n. 10, p. 653-656, 2015.

SAVINO, M. M.; MAZZA, A. **Kanban-driven parts feeding within a semiautomated O-shaped assembly line: a case study in the automotive industry**. *Assembly Automation*, v. 35, n. 1, p. 3-15, 2015.

SCHEER, A. W. **Evoluindo para a Fábrica do Futuro**. Institut d'Estudis Catalans, 1993.

SCHEER, A.-W. Whitepaper **Industry 4.0: from vision to implementation**. Saarbrücken: AWSi, 2015.

SCHMIDT, Rainer et al. **Industry 4.0 - potentials for creating smart products: empirical research results**. In: International Conference on Business Information Systems. Springer, Cham, 2015. p. 16-27.

SCHUH, Günther et al. **Promoting work based learning through industry 4.0**. Procedia CIRP, v. 32, p. 82-87, 2015.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial** (Edipro). São Paulo. 2016.

SENDER, Ulrich (Ed.). **Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM**. Springer-Verlag, 2013.

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

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Trad. Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SHROUF, Fadi; ORDIERES, Joaquin; MIRAGLIOTTA, Giovanni. **Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm**. In: Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014. p. 697-701.

SPATH, Dieter et al. **Cyber-physical system for self-organised and flexible labour utilisation**. Personnel, v. 50, p. 22, 2013.

Tepes, M., P. Krajnik, J. Kopac and B. Semolic. **Smart tool, machine and special equipment: overview of the concept and application for the toolmaking factory of the future**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2015.

WEYER, Stephan et al. **Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multivendor production systems**. Ifac-Papersonline, v. 48, n. 3, p. 579-584, 2015.

- WIENDAHL, H.-P.; LUTZ, Stefan. **Production in networks**. CIRP Annals-Manufacturing Technology, v. 51, n. 2, p. 573-586, 2002.
- WOMACK, J. P; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1990.
- YANG, S.; HAMANN, K.; HAEFNER, B.; WU, C.; LANZA, G. **A Method for Improving Production Management Training by Integrating an Industry 4.0 Innovation Center in China**. Procedia Manufacturing, v. 23, p. 213–218, 2018.
- YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. Sage publications, 2013.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso-: planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.
- YIN, Robert K. **Qualitative research from start to finish**. Guilford Publications, 2015.
- ZHOU, K.; LIU, T.; ZHOU, L. **Industry 4.0: towards future industrial opportunities and challenges**. In: FUZZY SYSTEMS AND KNOWLEDGE DISCOVERY (FSKD), 2015 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2015.