

NICOLAS DE SOUZA MACHADO ALVES

Matrícula 11511ECO044

**A INDÚSTRIA 4.0 E O SETOR AUTOMOTIVO: UM ESTUDO SOBRE
OS IMPACTOS DA NOVA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE ECONOMIA

2020

NICOLAS DE SOUZA MACHADO ALVES

Matrícula 11511ECO044

A INDÚSTRIA 4.0 E O SETOR AUTOMOTIVO: UM ESTUDO SOBRE
OS IMPACTOS DA NOVA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Monografia apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Cássio Garcia

NICOLAS DE SOUZA MACHADO ALVES

Matrícula 11511ECO044

A INDÚSTRIA 4.0 E O SETOR AUTOMOTIVO: UM ESTUDO SOBRE
OS IMPACTOS DA NOVA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Monografia apresentada ao Instituto de Economia
da Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em
Ciências Econômicas.

BANCA EXAMINADORA

Uberlândia, 16 de dezembro de 2020.

Prof. Cássio Garcia

Prof. Marcelo Loral

Prof. Dra. Sabrina Faria de Queiroz

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho aos meus pais, Pedro Machado Alves e Vera Lucia de Souza Alves por serem parte fundamental e sempre terem me apoiado ao longo desta jornada, me ensinando que com dedicação podemos ir longe. Ao meu irmão por sempre estar ao meu lado.

RESUMO

Este trabalho procurou apresentar os conceitos do fenômeno Indústria 4.0 e, usando a indústria automotiva como exemplo, mostrar os impactos nos processos produtivos em que houve adoção de seus conceitos. Para isso, adotou-se a metodologia de pesquisa bibliográfica exploratória de caráter qualitativo com o intuito de descrever a complexidade do tema, apresentando e analisando os conceitos-chaves, os processos inerentes ao estudo, e casos reais de aplicação no setor automotivo, um dos pioneiros em termos de adoção de conceitos e tecnologias que compõem a Indústria 4.0. Como resultado dos estudos e análise do tema Indústria 4.0 através da literatura escolhida, pode-se citar como benefícios: (a) maior flexibilidade nas cadeias produtivas, (b) redução de custos de produção, (c) maior eficiência, (d) grandes ganhos de produtividade e (e) ganho de habilidade e capacidade de reação frente aos problemas na cadeia produtiva. A Indústria 4.0 se mostra como o futuro industrial, de forma que, cedo ou tarde, todos os setores adotarão, em algum nível, conceitos deste tema. É importante que mais estudos abordem este tema, seja em um olhar amplo ou em temas mais específicos para um determinado setor. Estudos que abordem os impactos indiretos deste tema também são importantes, pois as principais tecnologias deste tema já existem, mas a forma com que são usados impactam não apenas a cadeia produtiva, mas forma como os negócios são elaborados.

Palavras Chave: Indústria 4.0; Quarta Revolução Industrial; Internet of Things; Cyber-Physical Systems.

ABSTRACT

This paper sought to present the concepts of the Industry 4.0 phenomenon and, taking the automotive industry as an example, show the impacts on production processes that the concepts were adopted. In order to show this, a qualitative exploratory bibliographic research was adopted as methodology to describe the complexity of this theme, presenting and analyzing the key concepts, the processes inherent to the study and real cases of application on the automotive sector, one of the pioneers in terms of adoption concepts and technologies that make up Industry 4.0 . As a result of the research and analysis of the Industry 4.0 theme through the chosen literature, can be mentioned as a benefit: (a) more flexibility on production chains, (b) reduction of production costs, (c) greater efficiency, (d) productivity gain and (e) gain in skill and ability of reaction under problems in production. The Industry 4.0 shows itself to the world as the future of industrial production, so that sooner or later, all sectors will adopt, in some level, one or more concepts of this event. It's important that more researches and approaches that address this topic, either in a broader view or in more specific topics related to a sector. Papers and researches that address indirect impacts about this topic are very important too, because the principal technologies of Industry 4.0 already exist, but the way that are used impact not only the production chain, but also on the way which business is done.

Key Words: Industry 4.0; Fourth Industrial Revolution; Internet of Things; Cyber Physical Systems.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1. REFERENCIAL TEÓRICO	13
1.1. Inovação e Revolução tecnológica	13
1.2. As Revoluções Industriais.....	17
1.3. A Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0)	22
1.3.1. Definição dos termos da Indústria 4.0.	24
2. O SETOR AUTOMOTIVO E A INDÚSTRIA 4.0: UMA ANÁLISE DO SETOR E DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 IMPLEMENTADAS.	33
2.1. O setor automotivo, a Indústria 4.0 e suas aplicações	38
2.2. Análise dos impactos.....	44
2.2.1. Uma análise dos players do setor automotivo espanhol.....	44
2.2.2. Casos de aplicação.....	47
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
BIBLIOGRAFIA.....	55

LISTA DE FIGURAS

1. Figura 1: Inovação no ciclo de vida do produto.....	17
2. Figura 2: Intensidade dos avanços tecnológicos.....	23
3. Figura 3: As Quatro Fases do CPS.....	28
4. Figura 4: Estrutura do CPS na indústria.....	29
5. Figura 5: Conexões Indústria 4.0.....	30

LISTA DE GRÁFICOS

1. Gráfico 1: Preço médio dos sensores de IoT.....	26
2. Gráfico 2: Produção Mundial de Veículos 2018 e 2019.....	34
3. Gráfico 3: Produção de Veículos por país 2019.....	34

INTRODUÇÃO

A teoria econômica reconhece a importante e estreita conexão entre a inovação e o desenvolvimento econômico e tecnológico, e o mundo vive em constante mudança. O desenvolvimento das tecnologias e da digitalização de processos está causando mudanças fundamentais na forma como os negócios são feitos, e estes impactos podem ser sentidos em diversos setores, uns com maior e outros com menor intensidade.

Enquanto algumas indústrias já vêm passando por este processo, sendo impactadas pelas novas tecnologias, outras tem características que diminuem os impactos disruptivos¹, como é o caso da indústria automotiva. Por muito tempo o setor era fortemente protegido contra novos entrantes, com os fabricantes controlando o mercado e altas barreiras à entrada, graças as vantagens de escala e fabricação, marcas confiáveis e outros fatores. Agora, a disrupção digital gera uma rápida transformação na indústria automotiva, trazendo desafios e oportunidades.

Segundo Conceição (2012), é possível identificar nas Revoluções Industriais os marcos evolutivos que geraram alterações nas estruturas organizacionais e alteraram os padrões sociais, econômicos e políticos.

E é em uma nova revolução industrial que o mundo se encontra neste momento. Segundo Almeida (2005), atualmente o mundo está passando pela Quarta Revolução Industrial, a qual se refere ao desenvolvimento de nanotecnologias e pela convergência de tecnologias já existentes, sendo utilizadas em conjuntos pra novas experiências.

E na Quarta Revolução Industrial, o consumidor está no centro das atenções. Desde o advento do computador e da internet, e o subsequente desenvolvimento do celular, internet móvel e a IoT (*Internet of Things*), o mundo tornou-se um ecossistema conectado e inteligente, no qual o consumidor agora se encontra no centro dele. Este novo perfil de consumidor vive em casas inteligentes, está sempre conectado através de seus smartphones e seus *wearables*, com cada vez maiores expectativas sobre as inovações.

¹ A disrupção é uma palavra que significa quebra de curso normal de um processo, que rompe ou fratura. Ou seja, um impacto disruptivo é aquele que gera uma grande mudança, deixando o que já existe obsoleto.

E embora sejam as mudanças de comportamento e atitudes dos consumidores que impulsionam que motivam a disrupção, é importante destacar as tecnologias que fazem isto possível. Essas tecnologias trazem um aumento na conectividade e poder de computação e analítica, tecnologia e dispositivos de IoT, big data, analytics, computação em nuvem, realidade virtual, realidade aumentada, inteligência artificial e automação.

Estas tecnologias citadas acima são os componentes da Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, uma revolução muito diferente das anteriores. Segundo Hermann (2016), pela primeira vez uma revolução industrial está sendo prevista, promovendo a oportunidade para que centros de pesquisa e empresas consigam realmente “modelar o futuro”, e são com as tecnologias citadas que o futuro industrial está sendo “modelado”.

A indústria automotiva é uma das que está mais à frente quando tratamos de adoção das inovações tecnológicas que compõem a Indústria 4.0. Até o momento, grande parte das inovações estão sendo aplicadas no produto. O futuro da indústria automotiva está sendo modelado sobre o carro conectado, Internet das Coisas e nas informações geradas através dos diversos dados coletados. O “carro conectado” é o principal, pois através dele é possível otimizar a própria operação e o processo de manutenção, enquanto se incrementa o conforto e a satisfação dos clientes. Hoje, os veículos conectados estão em um processo de se tornar parte de um ecossistema muito maior, que inclui infraestrutura em cidades, com os “carros inteligentes” sendo capazes de se conectar com as próprias cidades e outros veículos.

E este processo do carro se tornar um dispositivo constantemente conectado é importante para a indústria, pois gera um alto volume de dados, além de gerar a possibilidade de novas fontes de receita. As OEM (*Original Equipaments Manufacturer*) estão entre as que mais podem se beneficiar com os dados gerados nos veículos, podendo fazer análises mais assertivas e, através dos novos serviços digitais, diagnosticar de forma preventiva problemas e assim passar de uma manutenção remediadora para uma manutenção preventiva.

Obviamente, não se pode deixar de citar do grande processo de eletrificação dos veículos. Hoje, é onde se encontra a maior oportunidade disruptiva da indústria, com o crescimento de serviços de mobilidade tendo um grande potencial de mudar toda a forma das companhias trabalharem. Mas é importante destacar que as

regulamentações governamentais e as metas de política social também têm grande influência no desenvolvimento tecnológico, principalmente quando olhamos para o desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos.

No entanto, apesar dos grandes resultados de implementação de instrumentos da Indústria 4.0 terem sido feitos no produto, é na cadeia produtiva que estão as maiores oportunidades de ganhos e os maiores desafios que a indústria irá enfrentar. Moraes e Monteiro (2016) apontam que o conjunto de inovações apresentados pela Indústria 4.0 trarão grandes impactos nas operações e nos processos produtivos, com o aumento progressivo de processos mais digitalizados e interconectando os processos ao longo da cadeia produtiva, gerando um dos alicerces da Quarta Revolução Industrial, as *Smart Factories*.

É neste contexto que este presente trabalho se encontra. O objetivo é apresentar o que é a Indústria 4.0, quais as principais características, seus principais componentes e, a partir de um olhar sobre a indústria automotiva, mostrar quais os impactos as inovações implementadas nas cadeias produtivas trazem para os *players* do setor.

Para que isto seja feito, a presente monografia conta com, além de um capítulo de conclusão, outros dois capítulos (referencial teórico e a apresentação das características do setor automotivo, da Indústria 4.0 e das aplicações das tecnologias no setor) e referências bibliográficas.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Inovação e Revolução tecnológica

A inovação acompanha o homem desde o início da sua existência. Como situações de inovação, podemos apontar a transformação dos materiais encontrados na natureza em materiais usados no dia-a-dia. Esta primeira forma de transformação e produção é o artesanato, ou a confecção de materiais. Castells defende em seu pensamento a ideia de que “a tecnologia é a sociedade e a sociedade não pode ser entendida ou representada sem suas ferramentas tecnológicas” (CASTELLS, 2005), e por isso, a tecnologia é um dos pilares do desenvolvimento social como um todo.

No final do século XVIII, ocorreu a Primeira Revolução Industrial, na Inglaterra, período em que a indústria têxtil era a mais importante do país. A primeira grande inovação que ocorreu foi o surgimento da manufatura, que daria origem às primeiras fábricas e máquinas da história. Como resultado, no primeiro momento, a inovação ocorreu na forma de organização da produção, com trabalhadores passando a trabalhar unidos em um mesmo local (surtem as primeiras fábricas e posteriormente, a concepção de divisão do trabalho) e participando de apenas uma parte do processo produtivo – resultando em um grande aumento de produtividade e dando origem ao sistema fabril (Conceição, 2012). A descoberta do carvão e subsequente de outros materiais como fonte de energia permitiu a criação de uma nova geração de máquinas, que resultou, mais uma vez em um grande aumento da produtividade. Almeida (2005) destaca que a descoberta do carvão como fonte de energia trouxe um grande desenvolvimento para as indústrias nascentes e para o desenvolvimento de meios de transporte.

A partir deste momento, as transformações ganharam uma maior velocidade, e em um espaço de tempo muito menor, descobriram-se novas formas de energia, maneiras de fabricação, novas máquinas e até novos processos de produção. E todas estas mudanças resultaram em grandes impactos não só para a indústria nascente, mas na sociedade como um todo (social, político e cultural). A proporção e velocidade que as inovações proporcionaram para a sociedade atraíram os olhares de pensadores e estudiosos da época, que direcionaram seus esforços para estes

acontecimentos. Segundo Giovanni Dosi (1988) as inovações ocorridas ao longo do século XX permitiram avanços nas mais diversas áreas de conhecimento científico, desde a termodinâmica à biologia, além da física mecânica e outras áreas.

Um dos, se não o principal pensador quando tratamos de inovações tecnológicas, é Joseph Alois Schumpeter. Sua tese se apoia no pressuposto de que os fenômenos da economia não podiam ser explicados a partir da teoria neoclássica, pois esta considerava as inovações como fatores exógenos². Em sua linha de pensamento, as inovações eram endógenas³, pois a inovação gera impactos em diversas áreas econômicas.

A inovação, de acordo com o pensamento schumpeteriano, é capaz de exercer um efeito maior do que os outros dois componentes da trilogia de inovação (difusão e invenção) sobre o processo de desenvolvimento econômico, desencadeando novas transformações que podem ultrapassar os limites tecnológicos conhecidos (CONCEIÇÃO, 2000, p. 58). Na visão original de Schumpeter, as inovações eram muito mais prováveis nas grandes empresas, tendo as pequenas e médias empresas, as pesquisas em laboratórios e universidades um papel secundário.

Niosi *et al.* (1993) apresentam em seu texto uma definição de inovação baseada na visão clássica de Schumpeter que foi apresentada em sua obra **The Theory of Economics Development** de 1934. Para os autores, a inovação é um processo que resulta em “novos e melhores produtos e processos, novas formas organizacionais, a aplicação da tecnologia existente em novos campos, a descoberta de novos recursos e a abertura de novos mercados”.

Giovanni Dosi acredita que as inovações se referem essencialmente à procura, à descoberta, à experimentação, ao desenvolvimento, à imitação e à adoção de novos produtos, aos novos processos de produção e às novas formas de organização (Dosi, 1988). Disso, podemos tirar que apesar de todo o esforço dos agentes em buscar maneiras de aumentar seus lucros, as inovações envolvem uma espécie de percepção de oportunidades técnicas e econômicas, que, por sua vez, são alimentadas pela busca e experimentação, pela tentativa e erro.

² Uma variável exógena é aquela que está fora de um modelo, considerada como dada. (MANKIW, 2015)

³ Uma variável endógena é aquela que o modelo tenta explicar. (MANKIW, 2015)

Kupfer e Hasenclever (2002) também afirmam que a viabilidade de novos produtos, processos, sistemas, serviços ou até mesmo o aperfeiçoamento dos que já existem, ocorre através de esforços sistemáticos por parte das empresas, seja assimilado internamente, seja adquirido externamente. Por isso, dividem o ciclo de inovação em três etapas:

- a. Invenção: criação de coisas que ainda não existem;
- b. Inovação: melhoria dos bens e serviços para satisfazer ao máximo as necessidades dos usuários e;
- c. Imitação ou difusão: quando as inovações começam a ser imitadas por uma ou mais empresas, ocasionando a difusão.

Para eles a empresa é como um ser vivo que está em constante mudança. Muitas das influências são geradas pelo próprio mercado, e as empresas podem ser influenciadas ou influenciar, podendo até mesmo alterar o mercado em que atuam e/ou criar mercados.

Penrose (1959) acredita que a inovação gera vantagens competitivas para as empresas nos mercados em que já atuam e, algumas vezes, podem gerar oportunidades de uma diversificação. Segundo a autora, uma empresa pode ser considerada forte quando ela tem uma política de inovação que a defende da sua concorrência no seu mercado principal de atuação. As empresas se enfrentam no mercado e é a partir deste enfrentamento que Penrose acredita surgir o processo inovativo, muito porque o processo competitivo gera uma insegurança, e quanto maior essa insegurança, maior será o esforço para encontrar formas inovativas de reduzir custos e aumentar a produtividade.

Drucker (1997) define a inovação como uma ferramenta dos empresários para que estes possam explorar oportunidades de negócios e/ou serviços diferentes. Em sua visão, os empresários deviam buscar formas de inovação que se transformem em oportunidades bem-sucedidas e, para isso, o autor destaca que, a eficácia em um processo inovativo é resultado de um intenso trabalho, que requer conhecimentos pré-dispostos. O sucesso está atrelado também ao foco da inovação. Drucker relata que o inovador deve direcionar seu foco para a área onde já é forte, buscando assim, se distanciar dos seus concorrentes.

Kupfer (2002) destaca que o ponto mais importante está em saber quando é vantajoso colocar uma inovação em prática. Para que seja vantajoso, o ganho deve

ser suficientemente atrativo para que se financie os custos de inovar. Introduzir uma inovação gera concorrência das empresas que buscam reduzir seus custos e um ganho de participação no mercado.

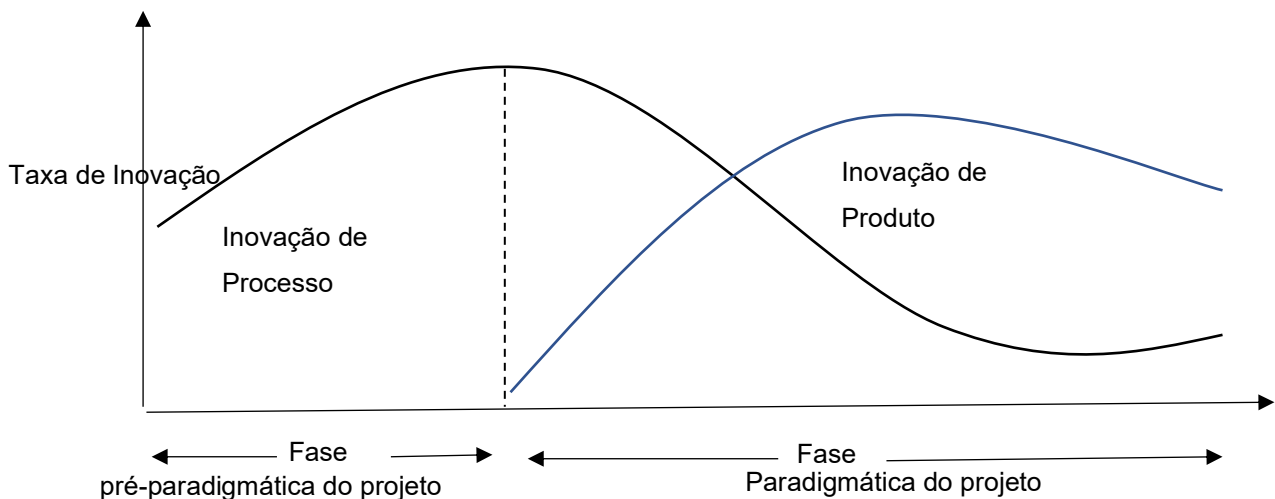
O principal objeto de estudo da Economia da Inovação são as inovações tecnológicas e organizacionais introduzidas nas empresas para fazerem frente à concorrência e para acumularem cada vez mais um volume maior das riquezas (Kupfer, 2002, p.129).

Schumpeter ao explicar a origem das inovações, descarta a ideia de que são criadas por uma necessidade dos consumidores, já que são agentes passivos na questão de P&D para novos produtos ou processos de produção. Para ele, as inovações têm origem no lado da produção. Este ponto de vista do autor está relacionado com a concorrência (que ocorre a partir da diferenciação de produtos) que gera uma corrida constante das empresas em busca de vantagens competitivas e maiores lucros, visto que uma inovação pode resultar em monopólios e até na eliminação ou não da empresa do mercado em que atua.

Tidd, Bessant e Pavit (2005) definem a inovação como a habilidade de detectar oportunidades nas necessidades dos mercados, e fazer uso da tecnologia e conhecimentos específicos para atendê-las, impactando bens, serviços e processos. Segundo os autores, a inovação é dividida em 4 categorias: produto, processo, posição e paradigma.

As inovações de produto e processo estão ligadas, uma vez que a introdução de um novo produto é capaz de afetar o mercado e paradigmas das empresas, podendo ainda mudar a forma de desenvolvimento, divulgação e até a distribuição de produtos e serviços. Após atingir o ápice da inovação, aquilo se torna o novo paradigma. Do lado do processo, há a busca pela redução dos custos e ganhos de escala, que ocorrem através da inovação (BURGELMAN; CHRISTIENSEN; WHEELWRIGHT, 2012).

Figura 1: Inovação no ciclo de vida do produto.



Fonte: Burgelman; Christensen; Wheelwright (2012); Elaboração própria

Uma inovação também pode ser definida como incremental ou ruptura, de acordo com sua velocidade e impacto. Quando ocorre de forma descontínua, trazendo otimização, mas sem alterar os conceitos de produto, processo e posição, é definida como incremental. Já uma inovação de ruptura, surge através da exigência de um mercado novo ou pré-existente, por meio de avanços ou rupturas tecnológicas. Christensen, desenvolvedor deste conceito destaca que, inicialmente, a ruptura se apresenta como um negócio marginal, mas que aos poucos ganha notoriedade até mudar as regras da forma de operação. (BURGELMAN; CHRISTIENSEN; WHEELWRIGHT, 2012).

Com base nas informações trazidas acima, é possível observar que a inovação é um importante objeto de estudo por estar diretamente ligada ao desenvolvimento, sendo assim, impossível analisar o desenvolvimento de um negócio, um mercado, uma indústria ou até mesmo da sociedade sem olhar para a inovação, seja ela de qualquer tipo.

1.2. As Revoluções Industriais

O desenvolvimento econômico sempre teve uma relação direta com as inovações tecnológicas. No caso industrial, ao analisar a história, percebe-se que foram nas Revoluções Industriais onde principais avanços tecnológicos surgiram, com

seus impactos transbordando para outros setores da economia e para a política e cultura, aumentando a velocidade do próprio desenvolvimento tecnológico.

Na Primeira Revolução Industrial, ocorrida na Inglaterra no século XVIII (1780-1830) assistiu-se à transformação de energia em força mecânica pelas caldeiras e máquinas à vapor, desenvolvendo principalmente às indústrias manufatureiras – dando destaque para a indústria têxtil inglesa – e os meios de transporte da época. É nesta época que surge as primeiras estradas de ferro que, segundo Drucker (2000) foram o elemento mais revolucionário proporcionado pela própria Revolução Industrial, pois impactou diretamente na economia, sociedade e política. Para ele, foi a primeira vez que as pessoas comuns tiveram mobilidade real, ampliando seus horizontes.

A partir do uso do vapor para fins industriais houve a mecanização de diversas etapas dos processos produtivos, resultando em grandes aumentos de produção e em grandes quedas de preço. E essa mecanização se estendeu para as cadeias produtivas de outros produtos que eram fundamentais para a época e que passaram a adotar máquinas à vapor (papel, vidro, couro e outros). Atrelado a isso, as ferrovias ofereciam uma ampliação significativa dos mercados, fato que proporcionou o escoamento dos agora altíssimos níveis de produção das manufatureiras.

Entre as mudanças geradas pela Revolução Industrial, podemos destacar que houve um intenso deslocamento da população para as cidades – dando origem à classe operária– e que os trabalhadores, com a especificação e divisão das atividades dentro do processo produtivo ficam cada vez mais distantes do produto. Como resultado, temos os baixíssimos salários pagos aos operários, fazendo com que fosse difícil sustentar suas famílias. Com a percepção das oportunidades oferecidas pela ferrovia, houve uma intensa demanda por trabalho na área, fazendo com que houvesse um grande deslocamento da mão-de-obra masculina para setor. Desta forma, restou a inserção das mulheres e das crianças como trabalhadores das fábricas e minas, recebendo salários ainda mais irrisórios que os homens.

Landes (apud CONCEIÇÃO, 2012) lista as três principais transformações na produção ocorridas no período: i) substituição da habilidade e esforço humano pelas máquinas; ii) introdução das máquinas que convertem calor em trabalho, proporcionando um novo suprimento de energia e; iii) utilização de novas matérias primas.

Enquanto a Primeira Revolução Industrial implementa um novo padrão de produção, a Segunda Revolução Industrial está baseada no uso de conhecimentos específicos para provocar mudanças. Iniciada em 1860, o conjunto de transformações apresentados impactam a sociedade até o início da 1ª Guerra Mundial. Entre as transformações que surgem, pode-se destacar: o processo Bessemer (Henry Bessemer) de transformação do ferro em aço, o dínamo que proporcionou o uso da eletricidade e o descobrimento do petróleo (ouro negro) que substitui o vapor como força motriz de barcos e locomotivas.

Ocorre então que, com a mudança do capitalismo comercial para o industrial, e com outros países (Estados Unidos, França, Japão, Alemanha, Itália) passando por processos de industrialização, a concorrência se amplia. É neste momento que, segundo Silva e Gasparin (2004), os donos do capital direcionam seus investimentos para o desenvolvimento de novas máquinas e técnicas de produção, buscando aumentar a produtividade e consequentemente seus lucros. É a partir deste momento que as pesquisas científicas passam a ganhar importância, pois eram usadas para o aperfeiçoamento industrial, e que desde então só ganhou mais importância, muito devido ao fato de ser um processo contínuo de buscar novas técnicas e tecnologias para aumentar os ganhos do capitalista.

O grande momento foi durante o final do século XIX e meados do XX, quando houve diversas descobertas tecnológicas. Durante este período há um forte desenvolvimento nos seguimentos de grande porte (metalurgia, siderúrgica, automobilística, petroquímica, naval e ferroviária). A contínua busca pela melhor produtividade visando um maior ganho por parte dos capitalistas intensificou ainda mais os esforços científicos e tecnológicos. Temos então o início das produções em série, feitas nas linhas de montagem que contavam com esteiras espalhadas por toda a fábrica para dinamizar o processo. O primeiro a fazer uso deste modelo foi Henry Ford, empresário americano do setor automobilístico. Baseado no Taylorismo (Frederick Taylor), que através da racionalização dos movimentos e do controle da produção buscava aumentar a produtividade do trabalhador, Ford aperfeiçoou tal modelo ao olhar para questões tecnológicas e implantou as esteiras dentro das fábricas, dando origem ao Fordismo.

No caso, as esteiras auxiliavam o deslocamento dos chassis por toda a fábrica, enquanto os operários montavam e adicionavam partes usando as peças trazidas por

outra esteira, o que, segundo Fraga (2005), reduzia o tempo de deslocamento e aumentava a eficácia da produção. O fordismo com sua produção em massa proporcionou uma nova redução nos custos e no preço dos produtos, tornando-os mais acessíveis para a população. Mas ao mesmo tempo que as inovações pareciam simplificar a linha de produção ao substituir a força humana na realização de trabalhos extremamente desgastantes e repetitivos, a sociedade passa a encarar um novo problema: o desemprego tecnológico.

A Terceira Revolução Industrial teve seu início em meados do século XX e há discussões se ainda está em curso ou se estamos em uma nova etapa. O seu contexto está no pós-Segunda Guerra Mundial, quando Estados Unidos ajudou seus aliados a se reconstruírem através do Plano Marshall, e desta reconstrução apresentaram taxas elevadas de crescimento. Sua base está no desenvolvimento de circuitos eletrônicos e dos circuitos integrados, conhecidos como microchips e da informática nos processos produtivos, aumentando ainda mais a competitividade e acelerando o processo de desenvolvimento econômico. Como resultado, temos grande transformação nos meios de informação e comunicação, com a explosão da internet e o surgimento do e-commerce (Almeida, 2005).

Para isso, foi preciso haver imensos investimentos em tecnologia, demandando esforços das empresas e dos Estados foram importantes. As mudanças observadas vão além da economia, impactando também na cultura pelas pessoas terem acesso aos aspectos culturais de outros povos, principalmente pela internet.

Castells aponta que as Revoluções Industriais abriram o caminho para o acesso à informação de forma mais ampla, mais rápida e mais acessível, com a Segunda Revolução Industrial trazendo a eletricidade e meios de comunicação à distância e a Terceira trazendo o nascimento da internet (CASTELLS, 2003). O autor ainda destaca que o grande destaque destas tecnologias está no seu alcance global e pela capacidade de integrar os outros meios de comunicação e promover uma maior interação com grande impacto cultural, ajudando no desenvolvimento e formação do homem.

Singer (1996) ressalta que tal revolução difere das anteriores por proporcionar um crescimento acelerado da produtividade que vai além da indústria, principalmente naqueles que arquivam, processam e analisam informações, sendo difícil prever seus desdobramentos no longo prazo. Isto tudo foi apoiado pela criação e evolução do

computador ao longo do tempo, levando a mais uma substituição do trabalho humano pelo da máquina.

Os modelos de produção originados anteriormente chegam ao fim, sendo impostos modelos menos rígidos. Entra em prática o Toyotismo, modelo produtivo japonês desenvolvido nas fábricas da Toyota, elaborado para recuperar as empresas no pós-guerra ao mesmo tempo que lidava com o mercado pequeno e a dificuldade de importar matéria-prima. Assim, o modelo se baseia na demanda pelo seu produto (encomendas), diminuindo seus custos com armazenamento de estoque, evitando desperdícios, tempo de espera e possíveis gargalos de transporte. Baseada na inovação, o uso intenso das tecnologias nos meios de transporte e na comunicação foi a chave do sucesso do modelo de produção “*Just in time*”, tornando a marca a maior montadora de veículos do mundo.

Uma das principais mudanças trazidas pelas revoluções industriais, e que nesta etapa atinge seu auge, é o da globalização. Desde a primeira, com as inovações atingindo os setores de transporte e comunicação, os limites geográficos vêm deixando de ser uma barreira para o comércio. Com o fim da Segunda Guerra, os países aliados, liderados pelos Estados Unidos colocam a globalização econômica como um dos seus principais objetivos, que se concretizaram com a criação das instituições internacionais.

Como resultado, houve uma transferência maciça de recursos para os países da Europa e Japão, ao mesmo tempo em que as grandes empresas estadunidenses se instalavam nos mercados através das filiais e pela aquisição de empresas nacionais, dando continuidade ao processo de multinacionalização. Os países europeus e os japoneses iniciaram um processo de reconstrução dos seus parques industriais incorporando as tecnologias e os padrões de consumo dos americanos, de forma que, com o tempo, as desigualdades foram sendo minimizadas até formarem um “bloco” bastante homogêneo. O crescimento destas economias foi alto (*anos dourados*), sendo ainda maior naquelas mais afetadas pela guerra, de modo que após um tempo seus padrões se equiparam com aquele que os Estados Unidos detinham.

Este intenso processo de globalização dos capitais gera uma nova organização da divisão internacional do trabalho, muito pelas diferenças de custos e produtividade entre os países. Nos países centrais os trabalhadores eram mais bem organizados, capazes de conseguir melhores condições de trabalho e remuneração, de modo que

seus ganhos passam a pressionar as taxas de lucro dos empresários. O resultado foi um novo direcionamento dos investimentos para os países em processo de industrialização a partir dos anos 70, que buscavam montar um parque industrial para abastecer os mercados dos países do Primeiro Mundo.

Quando analisamos os momentos históricos das Revoluções Industriais, podemos concluir que tais períodos ficaram marcados pelas inovações que surgiram e os impactos disruptivos que estas trouxeram, não só para as indústrias, mas para a sociedade como um todo. Na próxima seção, será apresentado uma introdução do que vem a ser a Indústria 4.0, também denominada como Quarta Revolução Industrial, quais os seus principais pilares e quais das suas inovações trarão impactos disruptivos para a indústria e a sociedade.

1.3. A Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0)

A Quarta Revolução Industrial é diferente de tudo que foi visto nas três revoluções anteriores. Inicialmente acreditava-se que seu contexto seria específico para a manufatura, mas com o tempo isso mudou, pois, seus impactos afetam nossa maneira de viver, trabalhar e de nos relacionarmos com o homem e com a máquina.

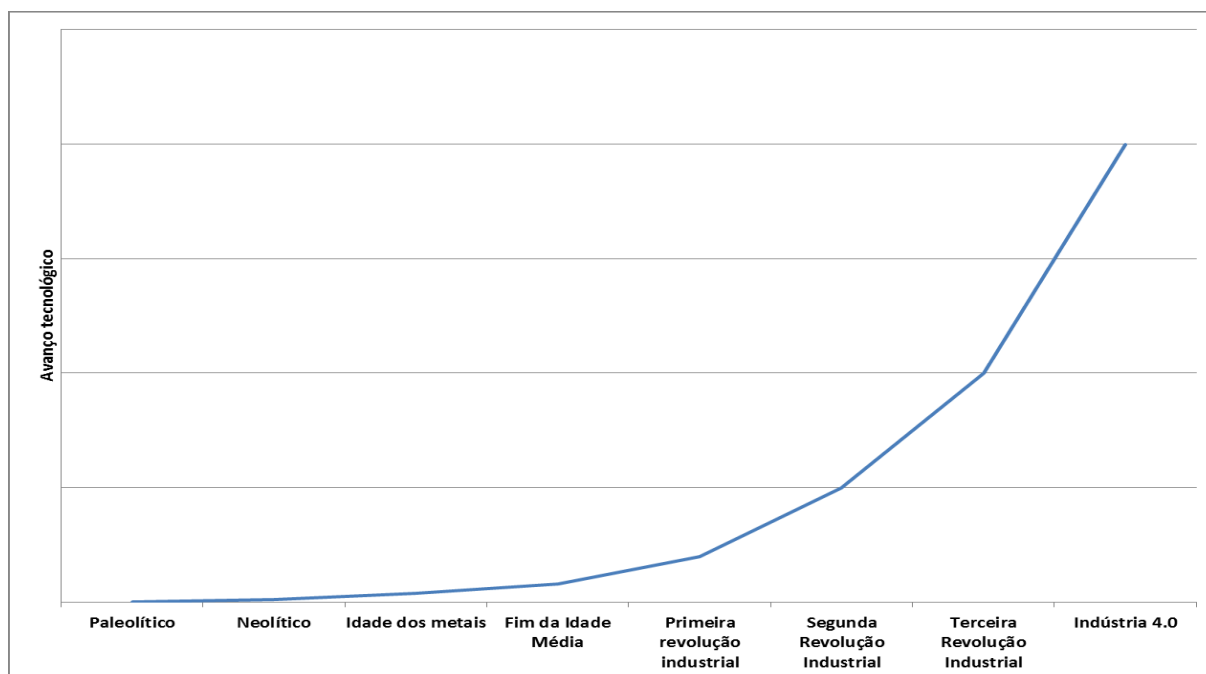
Nos últimos anos, a indústria tem visto o modelo de fabricação tradicional ser colocado em xeque com os intensos avanços tecnológicos que permitem uma integração dos sistemas com componentes inteligentes

Há quem diga que esta revolução é só mais uma etapa da anterior, em um contexto no qual o digital foi uma das grandes mudanças apresentadas e vem se desenvolvendo desde a última metade do século anterior. No entanto, apesar das mudanças estarem baseadas na união do físico com o digital e um intenso crescimento da conectividade, o escopo e o impacto das novas tecnologias mostram que as transformações que vem ocorrendo não são um prolongamento da revolução passada. A velocidade com que novas técnicas são apresentadas e aplicadas na indústria é sem precedentes, de forma que se pode afirmar que a evolução está ocorrendo em uma velocidade exponencial.

Além disso, as inovações estão afetando, em proporções diferentes todos os setores em todos os países, e acredita-se que pela profundidade das mudanças os impactos afetarão processos inteiros de produção, gestão e governança. Para Moraes

e Monteiro (2016) a digitalização e a interconexão entre produtos, cadeias de valor e modelos de negócio apresentam um rápido crescimento, tendo como ponto central a produção inteligente de métodos e processos produtivos.

Figura 2 - Intensidade dos avanços tecnológicos



Fonte: Morais e Monteiro, 2016, p.3.

Baseada na intensa e profunda comunicação entre pessoas, máquinas e seus recursos, a quarta revolução industrial promove a mudança dos processos produtivos centralizados para um modelo descentralizado. Não é o computador ou outro equipamento eletrônico a principal tecnologia desta revolução, e sim a internet. A indústria 4.0 é caracterizada pela digitalização e pela interconexão de produtos, cadeias de valor e modelos de negócios.

O desenvolvimento da produção digital vem ganhando espaço com o aumento qualitativo proveniente da intensificação das redes globais, superando as fronteiras corporativas e nacionais. Internet das Coisas, comunicação entre máquinas e instalações de fábricas cada vez mais inteligentes anunciam uma nova era.

Segundo Hermaan (2016), as mudanças não param por aí. Pela primeira vez uma revolução industrial está sendo prevista, promovendo a oportunidade para que centros de pesquisa e empresas consigam realmente “modelar o futuro”. O autor também destaca que os impactos econômicos esperados são profundos, aumentando

intensamente a produtividade, a efetividade operacional e a criação de modelos de negócios, produtos e serviços inteiramente novos.

Por ser algo novo e com grande expectativa, é normal que este tema tenha se tornado prioridade nos diversos centros de pesquisa, universidades e empresas pelo mundo. No entanto, apesar das diversas contribuições feitas, ainda há muito para se esclarecer sobre o fenômeno, por se tratar de um fenômeno relativamente recente.

Em um artigo publicado em 2016, Hermann aponta que a falta de uma aceitação geral reflete nos termos usados para tratar de um mesmo objeto. Apesar de hoje ser um dos tratamentos mais comuns, o autor destaca que na época o termo “Indústria 4.0” não era muito conhecido fora da Alemanha. Em contrapartida, o termo “*Industrial Internet*” que faz referência ao mesmo acontecimento e é usado principalmente nas regiões da língua inglesa. Sua definição é tão mais ampla que o termo Indústria 4.0 é considerado mais assertivo para denominar o fenômeno.

1.3.1. Definição dos termos da Indústria 4.0.

Indústria 4.0 é o termo empregado por uma parte da literatura especializada para se referir à Quarta Revolução Industrial. Apesar de não haver um consenso sobre um termo para denominar o fenômeno, há um consenso a respeito do que este fenômeno contemporâneo abarca: um conjunto de tecnologias de campos diferentes, mas que podem ser implementadas em conjunto, alcançando capacidades sistêmicas nunca vistas. Com estas novas tecnologias, espera-se melhorias na eficiência operacional, resultado da integração entre elas (HOLT, 2017).

O termo “Indústria 4.0” surgiu em 2011, em uma feira em Hannover para denominar uma iniciativa conjunta de empresas, governo e centros de pesquisa de fortalecer a competitividade da indústria alemã. Através deste projeto, esperava-se que houvesse grandes modificações nos processos de produção, desde a mecânica, até o tipo de material usado pela indústria. O governo alemão em uma das ações de apoio ao projeto anunciou que a Indústria 4.0 faz parte do plano “*High Tech Strategy 2020 for Germany*”, que visa levar a Alemanha à liderança tecnológica (tanto para uso quanto para fornecimento de máquinas e equipamentos) e contará com suporte de 200 milhões de euros anuais para pesquisas (HERMANN, 2016)

Em outra ação, é criado o *Industrie 4.0 Working Group* que publica em 2012 um relatório intitulado “Implementações e recomendações para o futuro do projeto Indústria 4.0”, o qual apresenta quais os requisitos básicos para começar a implementar a nova era industrial. Nela, os autores nomeiam os três componentes básicos para a Indústria 4.0: Internet das Coisas (IoT), Sistemas Ciberfísicos (CPS) e as Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*).

A Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) é um sistema que, através da internet ou de uma rede específica, promove a conexão entre dispositivos de informática que estão conectados em objetos, o que permite que eles possam enviar e receber dados e assim utilizá-los no processo produtivo. A inserção de micros sensores e atuadores⁴ formam o “sistema nervoso central” de qualquer rede de solução (IEL, 2017).

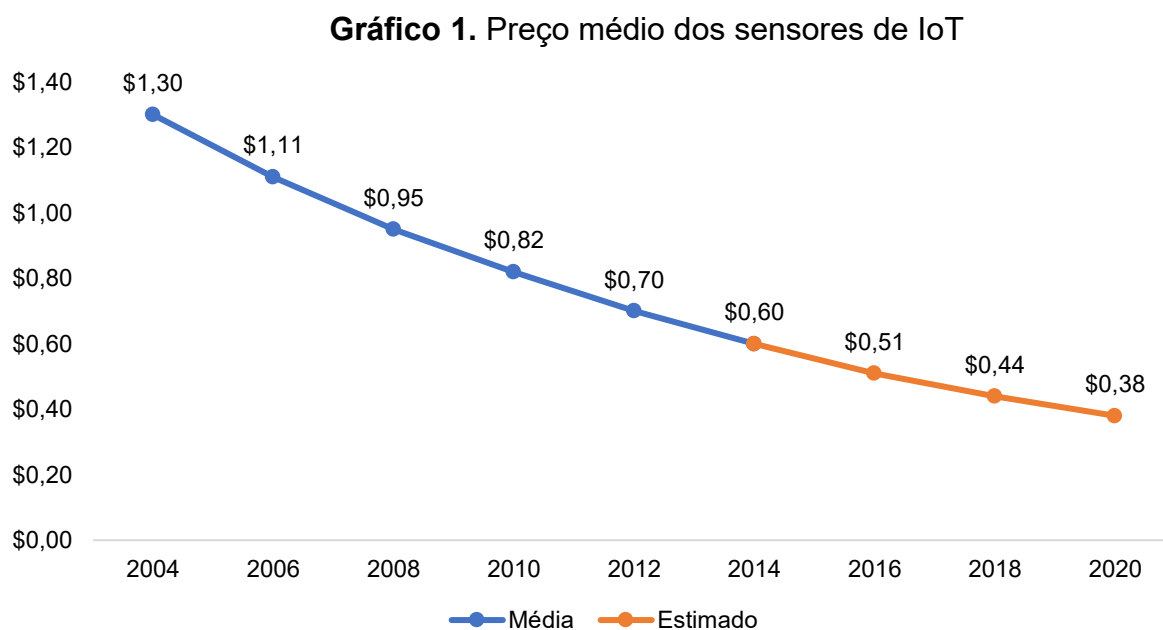
Por ser considerado o “sistema nervoso central” das conexões da Indústria 4.0, o IoT é composto por 6 camadas onde se encontram sistemas de dados, *softwares*, redes de comunicação, componentes semicondutores e infraestrutura de *hardwares*, e que juntos formam o sistema base desta revolução, mas separados são apenas “coisas”. As camadas são divididas em:

- i. Camada de Aplicação: são os sistemas de gestão de processos que fornecem serviços e gerenciam a relação das aplicações com seus clientes, estes podendo ser pessoas, empresas, indústrias ou até mesmo governos;
- ii. Camada de Armazenamento e Tratamento de Dados: camada composta por sistemas de análise (*data analytics*, *big data*) cognitivos (IA), agregação de dados, computação em nuvem e outras formas de tratamento de informações coletadas;
- iii. Camada de *Gateways* (*Edge* ou *Fog Computing*): onde se armazena os dados obtidos através dos sensores e atuadores. Além de agregar os dados, são dotados de certa inteligência capazes de prover soluções de maneira autônoma para os serviços mais imediatos de ações online;
- iv. Camada de Redes de Comunicação de Sensores: são as redes de rádio e cabeadas em geral, usadas devido ao seu baixo custo arquitetônico e energético em redes de *software*, de segurança e em outras tecnologias;

⁴ Um atuador é um dispositivo mecânico que converte uma energia em algum tipo de movimento, podendo ser um bloqueio, um aperto ou uma ejeção.

- v. Camada de Dispositivos: aqui estão os sensores e atuadores que coletam informações de objetos: nanotecnologia, micro e nano eletrônica, biotecnologia, sistemas embarcados e outros;
- vi. Camada Transversal de Segurança de Informação: tecnologias usadas na segurança e privacidade de envio de dados entre de todas as camadas anteriores.

Para que um sistema como o citado acima seja possível, é preciso de muitos sensores por todas as partes das fábricas, em cada ponto do processo produtivo e que estejam totalmente interligados por um canal seguro. Um fator muito importante que é apontado pela Goldman Sachs é a redução do preço dos sensores ao longo do tempo, facilitando o acesso dos empresários para este fator, conforme apresentado no Gráfico 1.



Fonte: Goldman Sachs, BI Intelligence Estimates; Elaboração própria.

Para 2020, as estimativas de dispositivos conectados variam entre 18 a 50 bilhões, segundo IHS e Ericsson. Já o Grupo McKinsey estima 35 bilhões de dispositivos em 2025, o equivalente a 5 vezes a população mundial. Estas estimativas aquecem o mercado de IoT, com uma receita estimada entre US\$1 e US\$7 trilhões em 2020, e seu impacto econômico pode chegar até duas vezes o valor da receita total do mercado (IEL, 2017).

Com toda a capacidade de análise das informações providas pelos sensores, é necessário que haja uma boa interação homens e máquinas para melhor proveito

dos fatores em questão, ponto muito importante no conceito da Indústria 4.0. Esta fusão entre o mundo físico e virtual é possível através dos Sistemas Ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems* – CPS), utilizando computadores e uma rede própria para monitorar e controlar os processos com *feedbacks* e assim juntar informações, analisá-las e criar ações que ajudem na realização de tarefas ou no aprendizado de novas funções ou processos. Kaifei e Jin (2016) definem o CPS como uma tecnologia transformadora para gerenciar sistemas interconectados entre seus ativos físicos e os recursos digitais. Ele possibilita que tecnologias juntem o meio físico e o digital, criando um universo de intensa conexão em que os objetos inteligentes comunicam e interagem entre si, mudando a forma como o homem interage com o próprio meio físico. Suas aplicações são compatíveis com grande parte dos setores, incluindo o automobilístico.

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) debatem como as empresas devem introduzir equipamentos para conectar as máquinas e os sistemas, e os CPS propõem esta integração entre os mundos físico e digital, sendo capaz de incorporar elementos de computadores e conectá-los com entidades em nuvem, proporcionando uma gestão eficiente entre o ambiente físico e os processos não só de uma fábrica.

Hermann (2016) aponta que o desenvolvimento da CPS ocorre em três fases. A primeira geração é composta por tecnologias de identificação simples, que permitem uma única identificação, como na *Radio Frequency Identification* (RFID). Nesse caso a identificação e a análise precisa ser feita por um sistema central. Já a segunda geração apresenta sensores e atuadores que possuem um número de funções limitado, enquanto a terceira geração possui milhares de sensores e atuadores, podendo armazenar e analisar as informações mais rapidamente e não precisando de uma rede individual, sendo conectado com a internet convencional, o que permite um maior alcance.

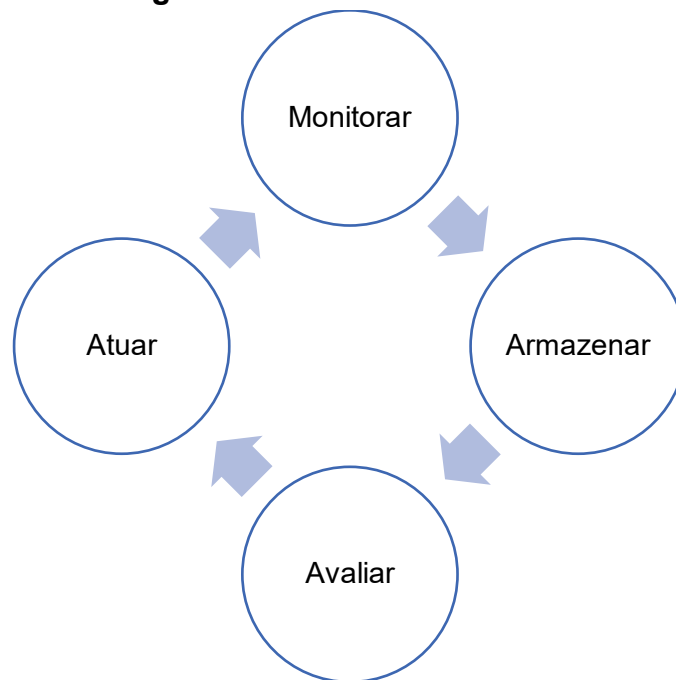
Essa terceira geração da CPS conta cada vez mais com a inteligência artificial. Juntas, promovem uma inovação que o relatório do IEL (2017) chama de “inovação arquitetural”. Com máquinas e equipamentos conectados a uma rede, as informações podem ser acessadas em tempo real, elevando para um outro nível a relação entre o físico e o virtual, além de que a sua implementação gera novos mercados e assim novos negócios.

Para Yen *et al* (2014), entre os componentes básicos do modelo cibernético, podemos citar os modelos de armazenamento em nuvem, sistemas embutidos e uma rede de sensores, pois segundo Yen, independente da maneira como é usado, os elementos citados acima sempre estarão presentes.

O sistema, no entanto, ainda está nos primeiros estágios de desenvolvimento, de forma que ainda não há uma estrutura geral dos Sistemas Ciberfísicos que pode realmente ser usado na maioria das suas aplicações. Hu *et al* (2012) relata que na sua fase inicial, o CPS possuía duas estruturas: a física e a computacional. A parte física é aquela que avalia o ambiente através dos sensores, coletando informações e executa decisões feitas pela parte computadorizada, enquanto a parte computadorizada analisa e processa as informações enviadas pelo lado físico para tomar a melhor decisão. Wang *et al* (2010), por sua vez, definem e ilustram o fluxo básico da CPS, que é dividido em quatro fases:

1. **Monitorar:** Monitora os processos e o ambiente físico é fundamental para o funcionamento do CPS, enviando *feedbacks* das ações tomadas anteriormente, buscando assegurar uma operação correta no futuro.
2. **Armazenar:** Responsável pelo armazenamento e difusão das informações obtidas.
3. **Avaliar:** Momento onde se avalia as informações coletadas durante as análises, buscando encontrar onde o processo físico é adequada aos pré-requisitos.
4. **Atuar:** Fase de execução das ações determinadas durante as avaliações.

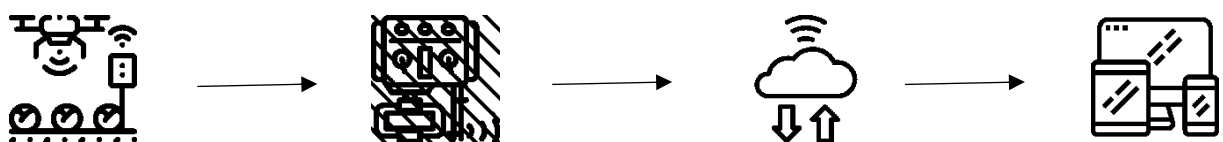
Figura 3: As Quatro Fases do CPS.



Fonte: Wang *et al* (2010); Elaboração própria

Seguindo as quatro fases retratadas na Figura 3, Wang também apresenta a existência de quatro camadas do CPS industrial. A primeira é denominada de *Physycal resource layer* e compreende diversos tipos de objetos inteligentes (máquinas e produtos). A segunda camada é a *Industrial layer* que interliga os objetos inteligentes, permitindo a comunicação entre eles e os conecta com a camada seguinte, chamada de *Cloud layer*, responsável pela conexão entre os servidores, oferecendo uma plataforma de serviços de infraestrutura. Por último temos a *Supervision and control terminal*, que consiste em materiais eletrônicos usados para acessar as estatísticas elaboradas pela camada anterior, podendo aplicar diferentes configurações com os dados, e assim elaborar diagnósticos e relatórios de manutenção, compartilhando-os com quem for necessário usando a internet. A figura abaixo ilustra o funcionamento das camadas.

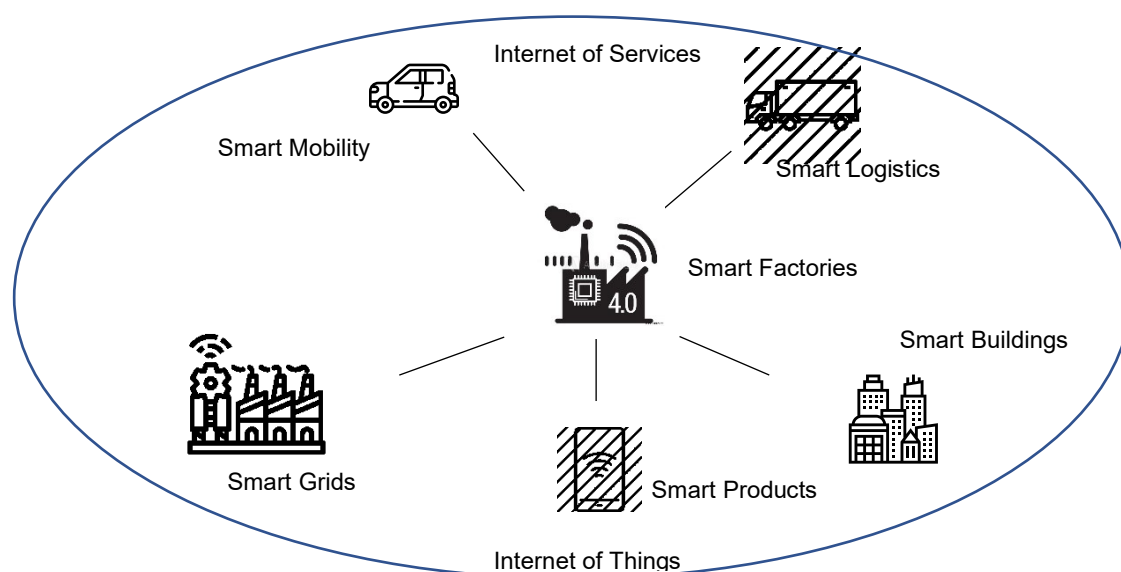
Figura 4: Estrutura do CPS na indústria.



Fonte: Wang *et al* (2016) Elaboração própria

Da integração entre IoT e CPS originam-se as *Smart Factories* ou fábricas inteligentes, uma das bases da Indústria 4.0, e que pode ser definida como uma fábrica que é capaz de auxiliar homens e máquinas na execução das suas tarefas. Tal auxílio é provido pelos sistemas que trabalham continuamente em segundo plano, e que para cumprir suas tarefas fazem uso das informações obtidas nos planos físico e digital. Esta conexão entre homens, informações e máquinas leva ao surgimento de novas maneiras de organização e administração de novos e recorrentes processos produtivos.

Figura 5: Conexões da Indústria 4.0



Fonte: MORAIS, MONTEIRO; Elaboração própria

As redes *wireless* desempenham papel fundamental, pois é através delas que toda a comunicação ocorre. E ao conectar máquinas, sensores e outros dispositivos, temos uma cadeia que faz com que a indústria 4.0 seja flexível o bastante para se adaptar às mudanças de demanda dos mercados ou para pedidos personalizados.

Este aumento de conexão entre os objetos possibilitará, segundo Hermman (2016), “fusões” entre o mundo físico e o virtual, permitindo que através de análises de informações feitas por sensores, possamos ter uma cópia virtual do mundo real, facilitando diversos estudos e análises. No entanto, para que estas cópias sejam feitas com exatidão, é preciso do maior número de informações possível, não só do projeto em si, mas toda e qualquer informação que esteja relacionada ao contexto analisado, ajudando na busca da maior assertividade possível de uma futura tomada de decisão.

E estas informações podem ser obtidas tanto de análises e testes anteriores (modelos de simulação, documentos e outros) quanto de forma bruta pelas novas tecnologias (sensores agregados a outros equipamentos que sejam capazes de fazer leituras). Para processar todas estas informações sem prejudicar processos produtivos, análises em tempo real são de suma importância.

Wang (2016) aponta as três características como base das *smart factories*. A primeira é a integração horizontal das cadeias de valor, e a segunda consiste na integração vertical e sistemas online de produção. O terceiro ponto é a integração de ponta a ponta da cadeia de produção do produto. O autor destaca que um processo de integração vertical significa ter uma fábrica altamente flexível e reconfigurável, e por isso, acredita que isto proporcionará produção em escalas menores e produtos mais personalizados.

Hermann, Pentek e Otto (2015) em seu estudo definiram os princípios da Indústria 4.0. São eles:

1. **Interoperabilidade:** é um facilitador que permite que CPS como transportadores de peças e estações de montagem, indivíduos e os sistemas das fábricas inteligentes conversem entre si. Os autores destacam que, para um sistema ser considerado Inter operável, é preciso que ele permita que todos os CPS consigam se comunicar com todos os outros objetos e sistemas em redes abertas;
2. **Virtualização:** a virtualização é a habilidade dos CPS monitorarem processos físicos através de sensores (GORECKY *et al*, 2014). Os dados gerados através deste monitoramento são usados em sistemas de plantas virtuais para simulações, de forma que sempre se terá uma cópia atualizada do mundo físico no plano digital. Ainda é possível armazenar informações sobre as etapas subsequentes do processo produtivo, ou planos de segurança;
3. **Descentralização:** a crescente demanda por produtos mais personalizados leva para uma queda do controle dos sistemas de forma centralizada (HOMPEL, T; OTTO, 2014). As informações obtidas através dos sensores, se conectadas à computadores, permitem com que os CPS tomem decisões por conta própria, levando em conta as necessidades reais da produção.
4. **Capacidade em Tempo Real:** é a tomada de decisão instantânea a partir dos dados que são obtidos (Schlick *et al*. 2014). Isto permite com que a produção

não precise ser interrompida caso uma máquina apresente algum problema, pois com as informações em tempo real, a planta pode reagir e redirecionar a produção para outro equipamento.

- 5. Orientação a Serviços:** Schlick também afirma que os o conjunto de empresas, sistemas e humanos formam o *Internet of Services* (IoS). Funcionando juntos, é possível que cada operação seja específica para uma demanda de produtos.
- 6. Modularidade:** Trazem para as fábricas a capacidade de flexibilidade e adaptação à mudança de requisitos, expandido a capacidade de produção de uma fábrica. Além de serem flexíveis para a modularização permite a inserção de novos equipamentos no processo, e atrelados aos *softwares*, podem ser utilizados rapidamente.

Conforme foi apresentado nesta seção, a Indústria 4.0 tem entre seus principais componentes um ponto em comum, que é o de oferecer uma conectividade entre máquinas e equipamentos de uma forma muito mais intensa, dando a possibilidade de organizar e analisar todas as informações geradas pelas máquinas nas linha de produção como dos *softwares* dos produtos.

E os ganhos estão tanto no lado da produção quanto do lado do produto. No caso do lado da produção, a expectativa que acerca os produtores está em, principalmente, analisar me tempo real os dados fornecidos e prever os próximos acontecimentos dentro de uma linha produtiva. Os ganhos de uma correção de erros e detecção de problemas de forma preventiva tem um potencial de gerar grandes ganhos para as companhias, pois impede que ocorram paradas não planejadas nas linhas de produção. Além disso, com toda a conectividade dentro das fábricas, será possível aprender com situações que aconteceram em outras unidades fabris, através de todo o montante de dados que são gerados. Além disso, conforme o volume de dados aumenta, as análises se tornam mais assertivas e mais robustas, o que ajuda no aumento da qualidade da produção e até possíveis ganhos de escala.

Um outro ponto que é importante destacar está no fato de tornar as cadeias produtivas mais ecológicas, reduzindo o desperdício de matéria prima ao transferir certas etapas da cadeia produtiva para a realidade virtual. O desenvolvimento das conhecidas realidades aumentada e virtual ajudam em etapas como o teste de

produtos. A capacidade de atribuir características para cada componente dentro da realidade virtual e aumentada ajuda os engenheiros a conseguir testar diversas possibilidades sem precisar construir um protótipo para cada característica modificada, o que além de reduzir o tempo da fase de testes, também torna os processos produtivos mais ecológicos, reduzindo os níveis de desperdício. Também podemos destacar que há os ganhos da parte de conseguir testar mais possibilidades e com isso trazer um produto muito mais completo para o mercado, aumentando muito a qualidade.

Já do lado do produto, pode-se destacar entre os ganhos da implementação das novas tecnologias, a possibilidade de gerar novas fontes de receita para as companhias, e a capacidade de entender mais as características dos seus consumidores, adequando os produtos de acordo com os desejos dos mesmos.

2. O SETOR AUTOMOTIVO E A INDÚSTRIA 4.0: UMA ANÁLISE DO SETOR E DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 IMPLEMENTADAS.

A indústria automotiva é definida como o conjunto de companhias e atividades relacionadas à produção de um veículo, incluindo seus componentes, desde o motor até pneus, baterias e o combustível. É composta pelos automóveis, veículos comerciais leves, caminhões, ônibus e motocicletas.

Desde seu surgimento, a cultura do veículo se espalhou por todo o mundo, e assim como outros produtos, o carro impactou na formação da economia global e da forma como milhões de pessoas se locomovem. Nos anos 80 e 90 o setor passou por importantes transformações, buscando se adequar aos padrões de eficiência da época estabelecidos pela Toyota (*Just in time*), ao mesmo tempo que o crescimento da automação microeletrônica gerou uma reestruturação das fábricas e de seus sistemas produtivos. O fim da década de 90 foi o momento em que o setor teve a sua internacionalização através da modularização, que permitiu que a cadeia produtiva

atendesse vários mercados, fortalecendo as cadeias regionais e favorecendo o crescimento das sistemistas⁵ (DAUDT, WILCOX, 2019).

E esta internacionalização muda a relação das montadoras e seus fornecedores, apresentando três tendências: a de se produzir onde há demanda; plataformas globais, capazes de serem adaptadas e receber as características específicas das localidades e o aproveitamento das plataformas globais para criar uma maior capacidade nas linhas de montagem tornando as plantas mais flexíveis (LIMA, 2014).

A estratégia de utilização de produtos mundiais provocou uma reformulação em algumas etapas do processo produtivo da indústria automobilística, com grande parte das atividades de projeto se voltando para a matriz. Assim, desde os anos 80 as transformações industriais no setor afetaram a organização do trabalho nas fábricas, as atividades de projetos e a organização do setor.

Com um novo modo de produção, o setor se expandiu no início dos anos 2000 com uma grande distribuição espacial das produções e com o crescimento chinês. Neste momento surgem as primeiras oportunidades para processos produtivos atrelados à produção inteligente e conectada, além das inovações de produto, com destaque para os veículos elétricos, autônomos e os conectados.

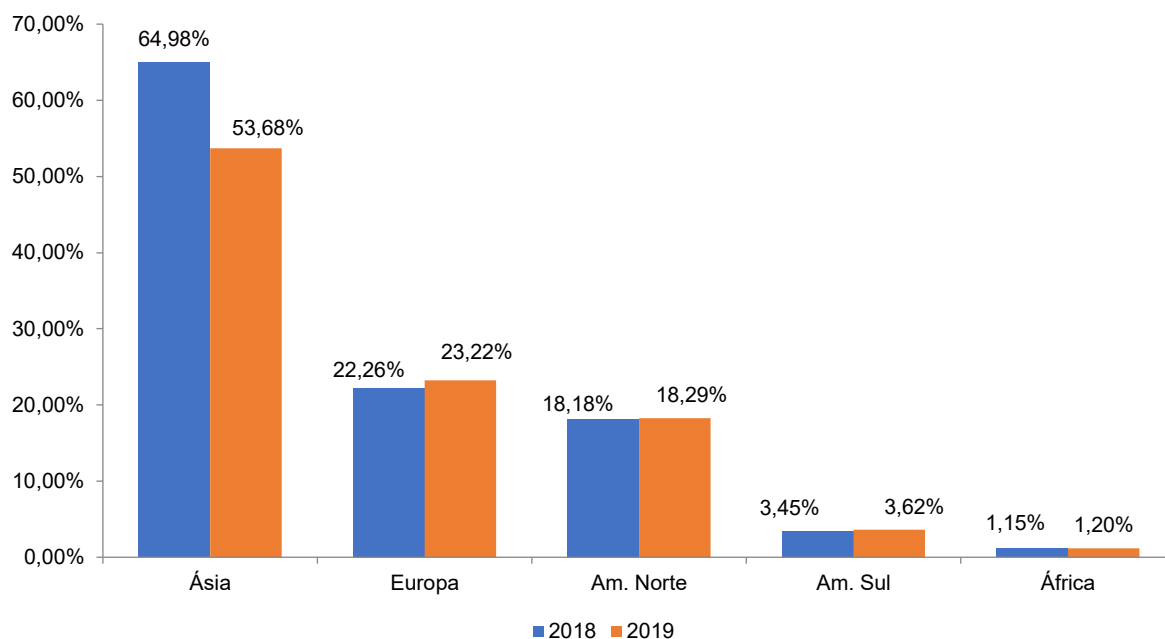
E desde então, o setor automotivo vem enfrentando diversos desafios ao longo dos anos. A intensa globalização e o crescimento da individualização, digitalização e uma maior competição no setor pressionam os participantes da indústria. Os fabricantes estão frente a frente com a maior complexidade já enfrentada por eles, e o resultado é um intenso investimento em novas tecnologias e modernizações.

Nos dias atuais, o setor é um dos mais importantes da indústria mundial, devido a sua capacidade de gerar empregos, pelos impactos gerados em cadeia em toda a economia e pelos grandes investimentos e capacidade de inovação, conforme mostra os dados da *Organisation International e des Constructeur d'Automobiles* (OICA). Segundo a entidade, em 2018 foram produzidos 95,7 milhões de novos veículos, um aumento de 46% em 10 anos, enquanto em 2019 a produção foi de 91,7 milhões. A

⁵ São empresas fornecedoras, mas que estão em uma posição diferenciada por fornecerem além de peças, subconjuntos, módulos e sistemas para as montadoras. Em um estudo feito por Barros, Castro e Vaz (2015), as principais sistemistas são asiáticas, europeias e estadunidenses, destacando Bosch, Hyundai Mobis e Faurecia.

produção já se mostra concentrada na Europa e na Ásia, conforme mostra o gráfico abaixo.

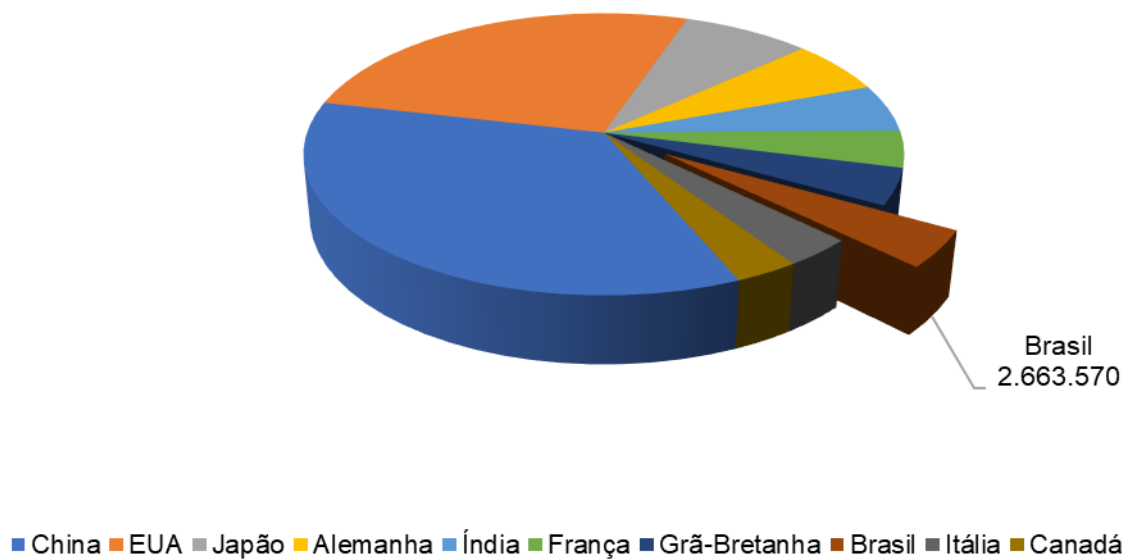
Gráfico 2. Produção Mundial de Veículos 2018 e 2019



Fonte: OICA (2019) Elaboração própria

A China é o país que lidera a produção mundial de veículos desde 2009, quando ultrapassou Japão e Estados Unidos. O Brasil fechou o ranking de 2019 na oitava colocação, com aproximadamente 2,7 milhões de unidades produzidas.

Gráfico 3. Produção de Veículos por país 2019



Fonte: OICA (2019); Elaboração própria

Em termos globais, o setor automotivo emprega diretamente, 9 milhões de pessoas, o que representa 5% do total dos empregos diretos da indústria de manufatura. Além disso, segundo a OICA, estima-se que para cada emprego direto criado pelas montadoras, são gerados outros cinco empregos relacionados à indústria.

Somente na Europa o setor automotivo está relacionado a algo próximo de 12 milhões de empregos, enquanto nos Estados Unidos o número está perto de 8 milhões e no Japão próximo dos 5 milhões (McKinsey&Company, 2019).

Apesar do crescimento da última década, o setor vem apresentando uma queda na sua produção, com 2019 já sendo 5% menor que 2018, com destaque para Alemanha e China. Segundo FMI, o setor enfrenta alguns problemas para a produção dos próximos anos, e entre os principais motivos estão a limitação da atual cadeia produtiva do setor e na alteração da demanda. O próprio órgão internacional aponta como motivo para redução da demanda o crescimento de serviços de compartilhamento de veículos e os serviços de transporte, que se mostram alternativas que reduzem a densidade de veículos nas grandes metrópoles do mundo (Winck, 2019).

Outro importante motivo para esta queda está no esforço dos órgãos em reduzir a emissão de gases, fazendo com que as marcas intensifiquem seus esforços na

busca por uma fonte energética alternativa. Países como Alemanha, China e Japão têm procurado reduzir suas importações de petróleo, que em grande parte é destinada para os transportes, como forma de forçar às grandes montadoras a pôr um fim no motor a combustão, sendo muito provavelmente substituído pelo motor elétrico, o que segundo Freyssenet (2012) será a próxima revolução do automóvel.

Na China, maior mercado do mundo, entrou em vigor, em 2019, um modelo de financiamento para que os veículos elétricos chegassem a 12% das vendas até o final de 2020. Daniel Lau, diretor de análises da China da consultoria Willis Towers Watson explica que o mercado chinês está passando pela profunda transformação dos consumidores trocando a motorização dos seus veículos. Lau aponta que esta é uma mudança cara e que exige inovação e investimentos das empresas, e que cedo ou tarde, todos os mercados do mundo enfrentarão esta mudança (RUIC, 2019). Uma outra característica da indústria automotiva é a sua interligação, sendo responsável por 8% das exportações globais e por metade da produção de borracha e petróleo. Por isso, qualquer desaceleração pode causar grandes impactos em cadeia. Para o economista alemão do Instituto de Economia Global de Kiel, Klaus-Jürgen Gern, “os carros são uma parte importante da economia e a indústria automotiva é um grande cliente das outras indústrias. Se ela está com problema, as outras logo estarão” (RUIC, 2019)

A mudança no comportamento dos consumidores e as imposições para a alteração da motorização dos veículos são alguns dos desafios enfrentados pela indústria e que expõem fragilidades da mesma, fazendo com que as companhias unissem forças para superá-los, como é o caso da fusão da FCA e PSA, criando o quarto maior grupo automotivo do mundo.

Um estudo a respeito do sistema produtivo automotivo produzido pela IEL, em uma iniciativa da CNI, destaca que nos próximos 10 anos os mais importantes impactos disruptivos virão de avanços relacionados ao armazenamento de energia (AE), da IoT e das redes de comunicações, enquanto que no lado da produção, a evolução da mecanização que ocorrerá de um modo geral na indústria, irá abrir as portas para a manufatura aditiva (uso da impressora 3D, *big data*, IoT).

Entre os resultados destes avanços, é possível destacar a mudança da motorização dos veículos para o motor elétrico, tanto no seu modo puro quanto no híbrido, e com a crescente incorporação de tecnologias de informação e comunicação,

que também atuam como apoiadoras na condução do veículo e que permitem um maior proveito do produto. Outra importante mudança, que provavelmente irá demorar mais para se difundir, é o da incorporação de veículos autônomos. Estas mudanças também abrem oportunidade para novos mercados, como o de compartilhamento de veículos.

2.1. O setor automotivo, a Indústria 4.0 e suas aplicações

O setor automotivo é um dos setores mais avançados na aplicação das novas tecnologias da Indústria 4.0, gerando inovações de produtos (veículos mais leves, eficientes e seguros) e nos processos de fabricação (produção inteligente e conectada).

Um bom motivo para o setor ser um dos mais avançados é o aumento da oferta de serviços complementares para os donos de veículos (serviços de navegação, assistência remota etc.). Este aumento ocorreu após as empresas de outros setores, principalmente as de tecnologia perceberam a oportunidade em um grande mercado.

Hoje, as OEMs (*Original Equipment Manufacturer*), empresas que produzem produtos que não são destinados ao consumidor final, mas sim para as montadoras, perdem oportunidades em relação ao planejamento do produto, novos serviços e com a falta de informações dadas pelo cliente. Uma interação mais direta entre a OEM e uma montadora irá ajudar a primeira a avaliar e entender as preferências do cliente e reduzir diversas ineficiências.

Atualmente a indústria automotiva se depara com uma crescente demanda por uma maior variedade de produtos. Portanto, o desafio é desenvolver automóveis que tenham o mínimo de modificações entre si para que se atinja altos ganhos de escala, ao mesmo tempo em que oferece maior variedade e personalização para o mercado consumidor. É importante ressaltar que a criação de um novo veículo é um processo longo (em média de 2 a 4 anos), e bastante caro (valores na ordem de bilhões de dólares). Com os grandes gastos de reestruturação e uma busca para melhorar o rendimento dos negócios, recuperar os investimentos feitos tornou-se o principal objetivo da época.

Nesse sentido, novas estratégias emergiram como a do carro mundial, ou seja, o uso de modelos semelhantes em diversos países, com o objetivo de reduzir os

custos relacionados ao desenvolvimento e ao aumento da escala (INDÚSTRIA 2027, Instituto Euvaldo Lodi). Já não basta ser uma grande montadora, a inovação é condição fundamental para sua sobrevivência. Essa exigência se explica, pois, a indústria automotiva global está sujeita a uma série de fatores que está aumentando a complexidade e influenciando as opções econômicas disponíveis para as produtoras. E a grande maioria destes fatores estão interligados.

Para tentar superar este desafio, setores como o de computadores, eletrônicos, o próprio setor automotivo e outros adotaram o conceito de modularidade, processo produtivo que consiste em construir a partir dos subsistemas menores que podem ser projetados de forma independente. O termo indica muita independência entre os elementos individuais e a interface perfeita entre eles. A modularidade permite que o esquema de interface compartilhada entre os componentes em dada arquitetura de um produto seja padronizado para garantir uma maior intercambialidade de componentes entre diferentes produtos (INDÚSTRIA 2027, Instituto Euvaldo Lodi).

Mas as principais mudanças e impactos que as inovações da indústria 4.0 trazem para o setor estão na cadeia produtiva e na configuração dos espaços produtivos. Isto porque não é de hoje que o veículo é praticamente um computador sobre rodas. Cada vez mais os veículos contam com componentes eletrônicos que assistem os motoristas (Computadores de bordo, assistências de freio, direção, partida e outros) e interagem com outros sistemas do veículo (BOBIER; GRAEF; HELLER, 2018).

Para que seja possível implementar novas tecnologias e obter sucesso com elas, é preciso que haja algumas condições prévias dentro dos espaços produtivos. Começando pelo chão da fábrica, onde toda a linha de produção está, é preciso que exista a transferência dos dados obtidos nos equipamentos (onde eles são gerados) para computadores (onde eles serão processados), o que requer uma rede moderna de conexão à internet.

Com uma rede de qualidade, outro importante ponto para que a implementação dê certo, diz respeito à relação entre as equipes de T.I e as equipes que trabalham diretamente com a produção. Esta relação ajuda no processo de distribuição de sensores pelos espaços da fábrica. John Peterson, gerente de T.I da AWNC, subsidiária de uma das maiores OEMs do setor automotivo, relata que em suas fábricas, o número médio de sensores é próximo de 2000. Por último, tendo uma rede

qualificada, sensores colocados em todas as partes do processo de produção, resta a capacidade de analisar todas estas informações (Revista WELCOME TO THE REVOLUTION, 2017).

E esta relação entre o digital e a engenharia só irá se intensificar. Adotar os processos e ferramentas digitais para continuar o desenvolvimento de produtos no setor é importante para não ficar para trás frente aos concorrentes, que tem promovido maneiras diferentes de fabricar um veículo.

As empresas que adotaram estas tecnologias têm obtido diversos benefícios, como redução de custos na matéria prima e uma maior velocidade no processo de produção do automóvel. Os benefícios se estendem para depois da venda, com uma grande redução dos *recalls*.

Bobier, Graef e Heller (2018) apontam que, apesar do grande crescimento de compostos eletrônicos cada vez mais complexos fazerem parte de um veículo, os departamentos de engenharia das marcas demoraram e ainda fazem de forma bem lenta a adoção de ferramentas digitais na produção. Os autores destacam que o uso do digital na engenharia de produção do setor automotivo, tem potencial de gerar impactos em todas as etapas do processo, desde o desenvolvimento do produto até o veículo estar pronto para ser vendido para o consumidor final. Para exemplificar, os autores definiram 4 tecnologias (digitalização, *car data*, plataformas compartilhadas e inteligência artificial) que causarão mais impacto e dividiram o processo em 3 etapas (processo de criação, a produção e o pós-venda).

As montadoras de veículos já fazem uso de plataformas digitais no desenvolvimento dos seus produtos através dos programas de simulação. No entanto, segundo Bobier, Graef e Heller (2018) estas simulações e as informações obtidas delas ainda não são totalmente confiáveis, não sendo compartilhadas com outras etapas do desenvolvimento, e com isso, ainda são usados diversos métodos manuais, como no caso dos testes da produção, em que as montadoras costumam montar aproximadamente 500 protótipos à mão para preparar o novo modelo para a produção em massa.

Mas com a virtualização, as simulações agora são mais baratas e mais confiáveis do que antes. Realidade aumentada e impressão 3D são exemplos de novas ferramentas valiosas para os engenheiros. Estas tecnologias facilitam a detecção de erros no design ainda na fase de desenvolvimento do produto, reduzindo

o risco de perda de ativos em uma possível descoberta somente na fase de testes. E seus benefícios vão além, reduzindo custos da fase de protótipos permitindo um melhor aproveitamento das matérias-primas, e até prever, através de testes em simulação, possíveis problemas na linha de produção antes deles realmente acontecerem, podendo assim organizar da melhor forma possível as máquinas na linha produtiva.

E estas tecnologias de virtualização podem ser aplicadas de diversas situações ao longo de toda a cadeia de produção de um veículo. Na fase de desenvolvimento do produto, a produção de protótipos com peças produzidas em uma impressora 3D ajuda nos testes de acústica, e até mesmo nos testes de impacto. Em fases mais avançadas, a virtualização pode oferecer uma simulação da linha de produção, sendo capaz de identificar previamente possíveis erros e ajudar na melhor maneira de organização das fábricas. A mais recente inovação está no uso da CAVE (Car Automatic Virtual Environment), uma ferramenta que cria uma cópia digital de um ambiente físico, e que depois é produzida pela impressão 3D para inspeções mais detalhadas.

Apesar de todas as melhorias trazidas, Bobier, Graef e Heller (2018) destacam que para que isto realmente aconteça, é importante que as informações estejam minimamente organizadas, pois sem isso, nem os melhores modelos são capazes de apresentar bons resultados. Assim, é fundamental que os engenheiros estejam capacitados para seguir rigorosamente a estrutura de obtenção e organização das informações, garantindo um ciclo de confiança; quanto mais houver confiança no uso dos simuladores, maior será a frequência de seu uso e melhores serão as análises feitas.

Quanto ao termo Car Data ele se refere à capacidade de extrair informações dos sistemas dos veículos (como as pessoas dirigem, quais os sistemas e opcionais que mais fazem uso) que ajudem na capacidade de decisão das empresas. Hoje, muitos dos componentes de um veículo gera e faz diagnóstico de informações que podem ser úteis para os cientistas das marcas, e isto ajuda as empresas a entender quais são as maiores necessidades dos seus consumidores, ajudando as empresas a serem mais assertivas, diminuindo o tempo e o dinheiro gasto.

Cumprе ressaltar que as montadoras sempre determinaram para as OEMs as especificações das peças que solicitam baseadas em experiências anteriores,

juízo profissional ganho com a experiência e pelo *feedback* recebido dos consumidores. Mas agora, com a implementação intensa de tecnologias nos veículos, diversos componentes possuem algum tipo de tecnologia que pode gerar em informações que, analisadas por pessoas com a competência adequada, podem ser bem úteis, ajudando a entender como os motoristas dirigem, quais os recursos são mais usados e de que maneira são usados.

Já no que diz respeito às plataformas compartilhadas, deve-se chamar a atenção para o fato de que o compartilhamento de informações pode ajudar na redução de informações presas em e-mails e documentos e substituir reuniões por atualizações mais frequentes. Quebrar as barreiras e proporcionar uma comunicação mais efetiva ajuda em um melhor alinhamento dos funcionários que trabalham em um mesmo modelo, mas que estão em etapas ou localizações diferentes.

As empresas podem criar ou usar o sistema interno de comunicação para reportar problemas e prevenir que o mesmo problema aconteça em todas as linhas de produção, e que haja uma maior possibilidade de encontrar uma solução. Em seu texto, Revista WELCOME TO THE REVOLUTION apresentam um exemplo real (sem citar nomes) de um caso em que um engenheiro encontrou um problema na criação da acústica. Este tipo de problema, pode estar relacionado com outras etapas e outras áreas da produção. Temporariamente foi criado um canal dentro do sistema interno para facilitar o envolvimento das outras áreas no problema, resultando em uma rápida solução, o que não aconteceria no caso mais comum, em que são feitas reuniões para discutir o assunto.

Bobier, Graef e Heller (2018) apresentam um caso em que uma equipe de engenheiros de uma marca automotiva fez uso de uma plataforma, durante a criação de um novo veículo, que avaliou em tempo real o custo e o desgaste de mais de 3000 componentes, ajudando em uma melhor alocação e otimização dos recursos que possuíam. Quando o veículo foi lançado, seu baixo custo foi um sucesso muito grande, a ponto de gerar um problema para atender a demanda.

Em relação à inteligência artificial, tal tecnologia já existe há algumas décadas, mas o desenvolvimento da informática e a queda nos preços de equipamentos elevou o recurso para um outro nível. Agora, ela é capaz de impactar milhares de equipamentos e processos. Seu impacto é resultado da implementação de novos algoritmos que aprendem a partir de experiências e as usa para prever ações, e pode

encontrar as informações que deseja dentro de uma base de informações muito mais rápido do que os outros métodos existentes.

Um dos impactos esperados da inteligência artificial no setor de estudo está no design automotivo. Se hoje as OEMs definem requisitos para as peças e componentes solicitadas pelas montadoras e que são criadas depois de muitas horas de trabalho, processo que requer uma quantidade substancial de tempo e de pessoal, a adesão da inteligência artificial pode, através de algoritmos, criar opções de design e especificações levando em conta informações de um banco de dados com informações dos veículos mais vendidos e quais os pacotes mais desejados pelos clientes, liberando pessoal para se concentrar em outras tarefas. O suporte da IA ajuda a parte de design ser mais assertiva, levando em conta os modelos que foram bem aceitos pelo mercado e analisando seus designs, trazer aspectos positivos destes, melhorando a atratividade de um modelo. Mas uma barreira importante é que para que isto funcione, é preciso que a base de dados esteja livre de erros e devidamente organizada para que sejam lidas no contexto correto.

Em etapas mais avançadas a IA pode reduzir o tempo gasto para testar componentes, sistemas e veículos. Um exemplo prático é o fato que a ADAS (*Advanced Driver Assistance System*) precisa rodar alguns milhões de quilômetros em estradas reais na fase de testes, tudo isso para garantir a sua confiabilidade e adequação às normas reguladoras. A IA neste caso pode criar simulações e analisar os resultados para identificar irregularidades que podem sinalizar algum problema. Este e outros tipos de testes podem ser feitos por máquinas com IA reduzindo custos com protótipos, a quantidade de testes e a duração de testes.

Algumas das principais inovações em desenvolvimento pelo setor automotivo surgiram por necessidades externas setor. A principal, hoje, é o fim do uso dos combustíveis fósseis. Após a decisão da União Europeia de extinguir o uso dos combustíveis fósseis até a metade do século, as empresas entenderam que precisavam se mover neste sentido. No entanto, o desenvolvimento das tecnologias relacionadas, principalmente ao motor, demanda uma quantidade muito alta de recursos. Como solução, as montadoras buscaram fazer parcerias para diminuir o impacto deste investimento em suas contas.

Diversos investimentos vêm sendo feitos ao longo dos últimos anos, tanto pela parte das montadoras quanto pelas OEMs, para adaptar os veículos às demandas e desejos (conectado, autônomo, compartilhado e elétrico) dos consumidores.

Mas os primeiros retornos não estão sendo muito positivos. Segundo o relatório da PWC – Automotive Trends 2019: The auto industry must find a way to balance accelerating innovation and financial survival – a Nissan lançou um veículo elétrico em 2010, o Leaf, projetando a venda de mais de um milhão de veículos até 2016. Mas o resultado real foi a venda de 400 mil veículos entre seu lançamento e o fim de 2018.

No caso dos veículos autônomos, o progresso tem ocorrido de forma lenta. Não se nega o fato de que o desenvolvimento do chamado CASE (*Connected, Autonomous, Shared and Electric Cars*) irá remodelar a indústria automotiva completamente. No entanto, acredita-se que no caso dos autônomos, levará décadas para que esta tecnologia seja realmente implementada nas ruas. Existe a opinião de que um veículo autônomo nunca conseguirá dirigir sem nenhum tipo de assistência em condições consideradas difíceis.

As empresas do setor precisam fazer uma autoavaliação e planejar os próximos anos, fazendo uma mescla com os projetos de longo prazo, de forma que ao longo do tempo, além de continuar trazendo mudanças importantes para a produção e para o consumidor final, também vá se preparando para as mudanças mais radicais. O relatório da PWC aponta para o desenvolvimento da relação entre as marcas para o desenvolvimento do CASE, sendo necessário um gerenciamento financeiro mais rígido, pois os retornos ainda são baixos.

2.2. Análise dos impactos

2.2.1. Uma análise dos players do setor automotivo espanhol

Conforme já dito anteriormente, estamos presenciando um processo contínuo de mudanças devido ao constante surgimento e desenvolvimento de novas tecnologias que estão mudando a forma como mercados e negócios operam em geral. Os efeitos da transformação digital no mundo são evidentes e produzem diversos benefícios para empresas, consumidores e sociedade em geral (YOO *et al*, 2010). E

todos os resultados causados pelos efeitos disruptivos da digitalização geraram, segundo Gao *et al* (2016) em relatório da McKinsey sobre as perspectivas do setor, o mais importante fenômeno em 140 anos de indústria.

Em seu texto, Albert, Rubio e Valero (2020) analisam o setor automotivo espanhol pela importância que este possui para a economia do país. Assim, abordou questões como o uso da mobilidade como serviço, a necessidade de cadeias produtivas conectadas, veículos compartilhados, *big data* e *analytics* na nuvem e como garantir segurança e privacidade. Além disso, foi analisado o impacto disruptivo da introdução do mercado de veículos elétricos, impulsionado pelas políticas ambientais, principalmente na Europa e Ásia, onde regulações governamentais forçam as companhias a seguir este caminho. O objetivo desta análise foi entender os impactos que as transformações digitais teriam na indústria automotiva espanhola e avaliar as estratégias de adaptação à nova realidade.

O setor automotivo espanhol é muito importante para o país. Segundo dados da ANFAC (*Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones*, 2019), estima-se que o setor (considerando montadoras e seus fornecedores) tenha movimentado, em 2018, mais que 100 bilhões de euros, o que representou, aproximadamente, 8,6% do PIB do país naquele ano, chegando a 10% se considerar o mercado de venda e pós-venda de veículos.

O país contava, em 2018 com 9 marcas e 17 fábricas, gerando cerca de 70 mil empregos. Já na área de venda e manutenção, havia cerca de 160 mil pessoas envolvidas. Cerca de 9% de toda a força de trabalho do país tem alguma relação com o setor. Além disso, em 2018, o setor exportou 2,3 milhões de veículos, correspondendo a 17,9% das exportações e 13,1% das importações (ANFAC, 2019)

Entre 2014 e 2018 o setor investiu 12 bilhões de euros, com foco principal novas tecnologias e inovação. Estes investimentos em inovação tiveram um foco maior em aspectos como busca de melhorias na qualidade dos processos industriais (adaptar linhas de produção, desenvolvimento de modelos), eficiência energética, segurança.

A indústria automotiva enfrenta dois desafios. O primeiro é o de integrar os veículos elétricos, que sofrem pressão por meio das políticas governamentais, que ao colocarem prazos, impulsionam os esforços das companhias para cumpri-los. O segundo desafio é se adequar ao novo protocolo de WLTP (*World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure*), que requer mudanças significativas pelas marcas em

suas ofertas comerciais e nas medidas dos veículos, impactando diretamente na indústria.

Ao analisar a indústria automotiva espanhola, Albert, Rubio e Valero (2020) destacam que a transformação digital é o principal fator de inovação do setor, alterando rapidamente o cenário global, afetando de maneira significativa a forma como as montadoras e as empresas de serviço vem mudando sua postura na hora de oferecer seus produtos e serviços no mercado.

Os autores também destacam que todas as análises convergiram para a conclusão de que a principal demanda está em inovações que aumentem a competitividade, gere economia, ajude no desenvolvimento de carros elétricos e autônomos e no processo de fontes de energia renováveis. Para isto, os autores acreditam que um dos principais caminhos esteja em desenvolver novos serviços e negócios relacionados a digitalização. Segundo eles, a empresa que tomar a liderança neste segmento terá uma vantagem significativa na competição da indústria. Mas para que seja possível se destacar neste novo negócio, será preciso investir em adequações para receber tais transformações industriais, que trarão maiores lucros, produtividade e consequentemente, maior competitividade.

No entanto, apesar de se ter uma visão de qual caminho as empresas devem seguir para estarem na nova era do setor e serem empresas fortes, as empresas ainda estão relutantes em destinar uma quantidade substancial de capital nestes esforços. Isto ocorre porque o retorno não é imediato, aumentando o risco das empresas em realiza-lo. Mesmo em questões em que se pode avaliar com mais clareza, como introdução gradual dos veículos elétricos, ainda há um longo *delay* entre o investimento e os benefícios que serão gerados.

Se voltamos um pouco na cadeia produtiva, as pequenas e médias empresas, que estão localizadas principalmente entre os fornecedores do setor, não possuem uma estratégia para entrar nas transformações digitais, e isto pode resultar no médio e longo prazo impactos negativos para as montadoras, visto que estas empresas não teriam a capacidade de atender as novas demandas.

Já do ponto de vista do consumidor, o resultado das análises mostra que a maior demanda por serviços fará com que haja um alto nível de qualidade ofertada. Esta será um período em que os consumidores terão mais voz na hora de escolher produtos e serviços. Por outro lado, ainda há um enorme receio quando se trata do

consumo de veículos elétricos no curto prazo. Acredita-se que as montadoras tenham capacidade de reverter este problema, mas que isto levará algum tempo, já que os valores destinados para os investimentos nesta área são altos, e as empresas preferem realizá-los gradualmente.

2.2.2. Casos de aplicação

Com o contínuo processo de implementação das tecnologias que compõem o conceito de Indústria 4.0, são nas fábricas que hoje vemos, até aqui, as principais mudanças e os resultados operacionais obtidos. Com o intuito de melhor mostrar os impactos que esta revolução já está trazendo para a indústria, esta seção apresentará alguns casos reais de aplicação dos conceitos que envolvem a Indústria 4.0. Todos os casos de aplicação são do Grupo BMW, e todas as informações foram retiradas de seus relatórios anuais e da área em seu site destinada a mostrar o que o grupo realiza em termos de inovação.

BMW

A adoção dos instrumentos da Indústria 4.0 abriram novas oportunidades para todo o sistema produtivo do grupo BMW, permitindo realizar os desejos individuais dos clientes, ao mesmo tempo que garante um alto nível de qualidade e flexibilidade no processo produtivo. O grupo destaca que, um pré requisito para o sucesso agora e no futuro é a habilidade de antecipar os desejos e necessidades dos seus clientes nas áreas de tecnologia e nas que adiciona valor para o consumidor.

O processo de implementação das tecnologias e operações da indústria 4.0 foi traçado com base nos seguintes pilares: *Smart Data Analytics*; *Smart Logistics*; *Innovative automation & assistance systems* e *Additive Manufacturing*.

No caso de *Smart Data Analytics*, a digitalização gerou um grande leque de oportunidades ao longo da cadeia produtiva da BMW. Ao longo de toda a cadeia, uma grande quantidade de dados é gerada, e graças a sua capacidade armazenar e analisar estes dados, a companhia já consegue ter benefícios em diferentes fases da

produção, como em uma manutenção preventiva e muito mais precisa, mas que também reflete até no produto entregue aos clientes com muito maior qualidade.

É o caso da fábrica de Dingolfing, que conta com 17.500 funcionários que produzem aproximadamente 1600 veículos por dia. Reinhard Weindl, gerente de qualidade e planejamento técnico tem visto um rápido crescimento de soluções digitais surgirem para a produção de veículos. Weindl destaca que o maior desafio da planta é ter que lidar com um grande mix de produtos e apenas duas linhas de produção, fazendo com que precisem lidar com uma grande complexibilidade e sempre buscando novas soluções que possibilitem criar mais variedades dentro das linhas existentes.

Um dos seus principais objetivos é deixar de reagir aos problemas e identificá-los ainda na fase inicial de produção. E para isso, acredita que a consistência, não só em uma etapa, mas em todas que envolvem a cadeia produtiva de um veículo é a resposta. Mas para que isso se concretize, é preciso que as informações de cada etapa estejam disponíveis e possam ser analisadas e usadas pelas outras áreas.

Reinhard explica que uma das principais maneiras de avaliar a qualidade um veículo produzido é através do teste de inspeção de folga e nível (*gap and flush test*), aspecto ainda mais importante quando se trata do segmento de luxo. Por isso, é importante que os requisitos sejam atingidos de primeira, evitando retrabalho e levando o volume de produção para um nível maior.

Para manter o nível de qualidade desejado, Weindl explica que três medições eram realizadas todos os dias, e que através do volume de medições foi possível determinar uma margem de tolerância (0,3mm), em que os carros eram aprovados no teste quando estavam em um valor entre os limites. Desde então, a fábrica de Dingolfing recebeu diversas automações que melhoraram diversas etapas do processo de produção.

O primeiro deles é a medição através de um scanner 3D, projeto desenvolvido na sede da BMW, em Munich. Sensores colocados em braços robóticos que se movimentam ao redor de toda a estrutura da carroceria do projeto, produzindo uma cópia do modelo em 3D com um desvio de apenas 100 micrometros⁶. Todo este processo leva aproximadamente 3 horas, e depois de concluído, pode ser enviado para a fábrica de interesse. Isto permitiu, segundo a própria marca, que *insights*

⁶ Um micrometro é, segundo o Sistema Internacional, a milésima parte do milímetro ($1 \times 10^{-3}\text{m}$)

pudessem ser feitos e erros descobertos ainda na fase inicial, sem precisar de um modelo produzido, diminuindo o desperdício de tempo e recursos da companhia.

As informações obtidas através do modelo 3D ajudaram no aperfeiçoamento de etapas seguintes. A instalação das portas na linha de montagem é feita totalmente automatizada em um processo denominado de “*best fit*” pela marca, em que um medidor óptico é capaz de determinar o melhor encaixe possível para a peça na carroceria, compensando qualquer tipo de desvio. Weindl explica que o valor definido como o melhor encaixe possível foi determinado através das informações coletadas dos 50 últimos carros que passaram na linha de montagem. O acesso aos dados anteriores e a capacidade de auto aprendizado traz melhores resultados, uma maior eficiência na produção, por diminuir a necessidade de correções e um volume muito maior de informações, pois todos os carros são registrados.

Ao final do processo de instalação das portas, a automação foi implementada para avaliar as medidas de folga e nível do produto. Se antes esta medição era feita manual, com alguns carros apenas sendo selecionados para esta análise, gerando um volume baixo de informações, que não podiam ser usadas como base estatística, agora todos os carros são avaliados. Para isto, quatro robôs foram instalados no fim da linha de produção, contendo mais de 50 scanners de medição, provendo informações 100% consistentes. O maior volume de dados permite que a equipe de qualidade possa analisar possíveis desvios, e corrigi-los rapidamente. Através de uma tela, os responsáveis avaliam o modelo, liberando para a próxima etapa ou interrompendo para correções.

Na etapa de instalação da transmissão, robôs são usados para ajudar na instalação mais precisa, identificado a posição ótima e apertando os parafusos necessários. Weindl explica que no momento, a interação homem e máquina (os robôs são trazidos e retirados da linha pelos funcionários para esta ação) é a melhor opção para a marca neste momento, visto que automatizar todo este processo geraria uma necessidade de trocar máquinas e reorganizar esta parte da produção, um gasto considerado não necessário, pois apesar da alta precisão que seria oferecida, o novo maquinário ainda não seria capaz de ter a mesma capacidade de julgamento que o homem. Por isso, no momento as inovações trazidas com a automação trabalham para auxiliar os trabalhadores da linha, e não para substituí-los.

O uso da realidade aumentada é um outro caso em que a aplicação de dispositivos inteligentes e conectados auxilia o processo produtivo. Uma imagem 3D é feita pelos scanners e carregada para os *tablets* com especificações técnicas, sendo possível fazer comparações com as especificações de qualidade, ajudando o funcionário a identificar possíveis problemas ainda na fase inicial da etapa e resolvê-los, o que diminui o tempo com retrabalho e correções. Weindl entende que este é o caminho a ser seguido pelas indústrias, em direção à Indústria 4.0.

Quando olhamos para o segundo pilar, *Smart Logistics*, a BMW vem desenvolvendo sistemas inovadores, que fazem uso, através da rede interna das fábricas, das informações fornecidas em tempo real de toda a cadeia produtiva, garantindo que o fornecimento as plantas possa ser flexível e rapidamente ajustado em casos de mudanças de cenário.

Além dos resultados obtidos com o uso de *Data Analytics*, o grupo vem implementando novas tecnologias relacionadas à *Smart Logistics*. O foco aqui é em aplicações como robôs logísticos, sistemas de transportes autônomos dentro das plantas. Entre as principais delas estão a introdução de robôs autônomos que circulam com os materiais pela fábrica, levando dos seus pontos de estoque para os pontos de uso na linha de produção.

Ná fábrica de Dingolfing é possível observar isto em dois modelos, ambos compostos de diversos sinais laser para que possam navegar em segurança e conectados à rede interna da fábrica, por onde recebem as informações necessárias. Uma vez que as informações são recebidas, os robôs são capazes de calcular a melhor rota para o seu destino. Em um processo em que surge uma demanda de uma nova quantidade de determinado material na linha produtiva, as informações são sempre analisadas em tempo real. Os operadores, ao identificar a necessidade mais peças na linha de produção, conseguem realizar a demanda através dos dispositivos eletrônicos. As informações são enviadas através da rede interna as informações para dois tipos de robôs: os transportadores e os presentes na área de estoque, de forma que enquanto os transportadores seguem para buscar as peças, já há uma pré separação das peças. Todo o processo trouxe uma maior agilidade dentro da fábrica, impedindo que as linhas de produção fossem interrompidas, e consequentemente, aumentando a produtividade. Um outro fator interessante destes robôs é que são energizados com baterias recicláveis da BMW i3 Series, com autonomia de 8 horas.

No terceiro pilar do processo de inovação está a *Innovative Automation*, que consiste em, por um lado, aliviar o trabalho dos funcionários diretamente relacionados a cadeia produtiva, enquanto pelo outro, servir como complemento à flexibilidade e sensibilidade humana através da força dos robôs. Para isso, foram inseridos diversos robôs ao longo da cadeia produtiva que trabalham de forma colaborativa com os empregados em atividades extenuantes que demandam muita precisão. O principal objetivo destas inovações está em garantir a precisão e mais alta qualidade, um fator que é muito importante no segmento de luxo que o grupo atua. Além dos robôs que são inseridos em algumas etapas da linha de produção como auxílio, há também o uso de exoesqueletos, que garantem que peças e componentes sejam instalados corretamente com o máximo de precisão possível.

O último dos pilares é a *Additive Manufacturing*. O grupo destaca que os primeiros protótipos de manufatura aditiva começaram no final dos anos 90, mas que, após a chegada e a popularização das impressoras 3D, se tornou muito mais acessível, surgindo novos métodos. Uma produção sem ferramentas tem um grande potencial para gerar uma linha de produção mais flexível e econômica, assim como para a individualização dos componentes.

Neste contexto, buscando continuar entre os líderes quando se trata de manufatura aditiva, o grupo expandiu seu campus de manufatura aditiva, localizado nas proximidades de Munique, onde além da produção de protótipos e peças padrão, agora é conduzido pesquisas na linha de novas tecnologias de impressão 3D, além de treinar equipes para esta linha produtiva. Com cerca de 80 funcionários em 2019, foram produzidas cerca de 300 mil partes, sendo 25 mil a partir da impressão 3D. A manufatura aditiva também ajuda a no desenvolvimento de modelos muito fiéis a realidade, que podem ser usados em testes, ajudando no planejamento e em configurações em diversos produtos e equipamentos.

Mas o grupo não trabalha sozinho. Para estar sempre por dentro das inovações, o Grupo BMW tem colaborações com outras montadoras, como a Mercedes-Benz, e com universidades, além de realizar investimentos no Vale do Silício através da sua subsidiária de investimentos, a BMW i Ventures. E como resultado destas parcerias, o Grupo BMW é um dos principais parceiros nos projetos de pesquisa na área de manufatura aditiva junto do Ministério Federal de Pesquisa e Educação da Alemanha.

Também pode-se destacar a parceria feita junto da Microsoft para o desenvolvimento de uma rede em nuvem onde se pode armazenar de forma segura todas as informações. Acredita-se que a criação de uma rede com uma estrutura aberta e comunitária pode ajudar no desenvolvimento das *Smart Factories* entre as companhias do setor automotivo. Entre os principais ganhos que esta produção conjunta pode gerar, está em uma aceleração do desenvolvimento dos projetos de IoT, reduzindo o tempo gasto em processos e aumentando a efetividade ao oferecer dados para análise, e ajudam a marca a tornar seu objetivo de produzir seus produtos *premium* de maneira mais individualizada real. O grupo BMW destaca que os seus principais ganhos estão nos processos logísticos, uma vez que a montadora possui plantas produtivas por todo o mundo. Esta interconexão entre as plantas produtivas e os fornecedores são bastante importantes, pois aproxima a relação entre ambos e ajuda a ter um controle em tempo real das demandas das plantas.

Todo este desenvolvimento que a companhia faz é muito importante para o seu sucesso no presente e futuro. Mas além de desenvolver novas tecnologias e adequar suas fábricas para recebê-las, cabe a companhia também treinar seus funcionários para que estes estejam adequados a trabalhar com os novos equipamentos. Os investimentos do grupo em qualificação de pessoal totalizaram 370 milhões em 2019, sendo as principais áreas ofertadas, mobilidade elétrica, robótica, *data analytics*, digitalização. Além dos cursos próprios, o grupo realizou investimentos em parcerias, sendo uma delas na criação do Centro Internacional de Pesquisas Automotivas na Universidade de Clemson, Carolina do Sul, Estados Unidos. A colaboração ajudou no desenvolvimento de pesquisas que tratam de segurança, qualidade, sustentabilidade, design e outras áreas, além de fortalecer os sistemas produtivos, preparando-os para a digitalização que ainda está por vir.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo apresentar os conceitos do fenômeno Indústria 4.0 e, usando a indústria automotiva como exemplo, mostrar os impactos nos processos produtivos em que houve adoção de seus conceitos. Desta forma, a elaboração deste trabalho foi importante por apresentar casos reais como exemplo de aplicação dos conceitos e tecnologias que acercam o tema Indústria 4.0 e apresentar análises a respeito dos possíveis cenários futuros e os maiores impactos de uma adoção em maior escala.

Podemos concluir que, o surgimento da Quarta Revolução Industrial só foi possível pelo intenso avanço tecnológico dos anos anteriores, e que o futuro industrial, não só do setor automotivo, segue a direção da adoção das ideias do conceito Indústria 4.0. Isto ocorrerá graças ao intenso desenvolvimento e evolução tecnológico que vem acontecendo nos últimos anos, pela necessidade dos setores em se tornar mais produtivos, se adequar as novas demandas dos seus consumidores e para atender as imposições de entidades governamentais, esta última tendo um grande papel na aceleração do desenvolvimento e adoção de algumas medidas.

Entre os principais ganhos já trazidos pela implementação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor automotivo estão, principalmente, no ambiente fabril. Já foi possível observar, conforme os casos descritos acima mostram, que uma maior capacidade analítica dos dados gerados resultou na capacidade de prever possíveis cenários e corrigi-los antes que de fato acontecessem e pudessem gerar paralisações nas linhas de produção, além de aumentar a qualidade do trabalho em toda a linha, o que resulta em um aumento da qualidade dos produtos trazidos para o mercado.

E quando olhamos para o setor automotivo, o futuro do setor segue no sentido do veículo elétrico. Com as imposições governamentais para o fim dos veículos a combustão, as montadoras precisaram direcionar grande parte dos seus esforços para se adequar e desenvolver veículos que sejam confiáveis e acessíveis aos consumidores no mercado. Além disso, nas linhas de produção, acredita-se que com as novas tecnologias, o setor conseguirá ter uma linha de produção muito mais flexível, sendo também capaz de produzir seus veículos de maneira muito mais

individual do que os veículos produzidos hoje em dia, se adequando muito mais a demanda de cada consumidor.

Também é importante destacar que o desenvolvimento tecnológico e a inovação ao gerar novos mercados enfraqueceu as barreiras à entrada existente no setor, com grande destaque para a modalidade de aluguel de veículos. Este novo negócio, apesar de ser também um consumidor do setor, se tornou o principal concorrente das montadoras. Para combater este novo concorrente, as principais marcas já vem desenvolvendo seu próprio negócio de aluguel de veículos.

O cenário global mostra que a interação entre todos os agentes envolvidos nos processos produtivos será mais intensa, e isto traz o surgimento mais recursos de fabricação autônoma, mas principalmente um grande trabalho para proteger as informações que ganham ainda mais importância e seguem o caminho do armazenamento em nuvem.

Assim, é possível afirmar que a transição tecnológica trazida pela Quarta Revolução Industrial será bastante ampla, com os diversos setores industriais passando uma grande ruptura de seus processos produtivos e do ambiente fabril, com as empresas e indústrias adotando, cedo ou tarde, o novo modo de produção. Ressalto que é importante que mais estudos abordem este tema, seja em um olhar amplo ou em temas mais específicos para um determinado setor sobre como estas tecnologias podem beneficiar cada setor.

BIBLIOGRAFIA

ALBERT, C.L. RUBIO, F. VALERO, F. **Impact of digital transformation on the automotive industry**. 2020. Elsevier Inc.

ALMEIDA, P. R. O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial. 2005. Espaço Acadêmico, Maringá, a. VI, n. 52, set. 2005.

ANDRADE, P. S. A. M. A Quarta Revolução Industrial e sua Relação com a Produtividade Atual: uma revisão da literatura. 2017. 52 f. Monografia – Curso de Administração, Universidade de Brasília, 2017.

BOBIER, J.; GRAEF, A.; HELLER, K.. **Why Carmakers are Racing to go Digital**. Boston: Boston Consulting Group, 2018. 6 p.

BURGELMAN, R. A.; CHRISTENSEN, C. M.; WHEELWRIGHT, S. C. **Gestão Estratégica da Tecnologia e da Inovação: Conceitos e Soluções**. 5. ed. AMGH. Porto Alegre, 2012. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2012.13839abstract>

CASTELLS, Manuel. **A galáxia da internet: reflexões sobre a internet, negócios e a sociedade**. Traduzido por Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003, p. 13.

CASTELLS, Manuel. **A Sociedade em Rede – a Era da Informação: economia, sociedade e cultura**. 8. ed. Traduzido por Klauss Brandini Gerhardt e Roneide Vanancio Majer. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

CASTILHO, Luciana. **O uso da tecnologia da informação e comunicação (TIC) no processo de ensino e aprendizagem em cursos superiores**. 2015. 124 f. Tese (Mestrado) – Curso de Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento, Fumec.

CONCEIÇÃO, C. S. **Da revolução industrial à revolução da informação: uma análise evolucionária da industrialização da América Latina**. 2012. 200 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DAUDT, Gabriel; WILLCOX, Luiz D. **Visão 2035: Brasil, um país desenvolvido: Indústria Automotiva**. BNDES, 2018.

DOSI, Giovanni. (1988). **The nature of the innovative process**. In: DOSI, G. et al., eds. *Technical change and economic theory*. London: Pinter.

DRUCKER, P. **Como reagir às mudanças**. São Paulo: HSM Management, março-abril 1997.

DRUCKER, P. **O futuro já chegou**. Revista Exame, v. 22, n. 03, 2000.

FRAGA, A. B. **Da rotina à flexibilidade: análise das características do fordismo fora da indústria**. Revista Habitus, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, 2005.

GAO, V. P. *et al.* **Automotive Revolution Perspective Towards 2030, McKinsey Report**, 2016. Acesso em: 22/07/2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/disruptive-trends-that-will-transform-the-auto-industry/de-de#>

HADDAD, E.W. **Inovação Tecnológica em Schumpeter e na ótica Neo-Schumpeteriana**, 2007. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HERMAAN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**. *Hawaii International Conference on System Sciences*, 2016. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>

HOLT, N. **Welcome to the Revolution – The I4.0 concept becomes reality**. AMS. United States, 2017.

HU, L., XIE, N., KUANG, Z., & ZHAO, K. **Review of cyber-physical system architecture**. In: 15th IEEE International Symposium on pp. 25-30. 2012. <https://doi.org/10.1109/ISORCW.2012.15>

Informe Anual 2018, ANFAC (*Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones*), 2019.

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 5., 2016, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2016.

INSTITUTO EUVALDO LODI – **Mapa de Clusters Tecnológicos e Tecnologias Relevantes para a Competitividade de Sistemas Produtivos**. Brasília: 2017.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J.; **Recommendations for Implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Abril, 2013

KAIFEI, H.; MAN, J. **Cyber-Physical Sistem for maintenance in industry 4.0**. 2016. 64f. Dissertação de Mestrado. Universidade de Jönköping, 2016.

McKinsey & Company – **The road to 2020 and beyond: What's driving the global automotive Industry?**

MORAIS, R. R.; MONTEIRO, R. **A Indústria 4.0 e o impacto na área de operações: um ensaio**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS,

NIOSI, J. et al. **National systems of innovation: in search of a workable concept**. In: Technology in Society on v. 15, pp 207-227. [https://doi.org/10.1016/0160-791X\(93\)90003-7](https://doi.org/10.1016/0160-791X(93)90003-7)

PENROSE, Edith. **The theory of the growth of the firm**. 4.ed. Londres: Oxford University Press.

PWC (Org.). **Automotive Trends 2019**: The auto industry must find a way to balance accelerating innovation and financial survival. 22. ed. Global: Pwc, 2019. 11 p.

RUIC, G. **O começo do fim de uma era?** Disponível em: <https://exame.abril.com.br/revista-exame/o-comeco-do-fim-de-uma-era/> Acesso em: 17 de maio de 2020.

SCHLIK, J. *et al.* **Industry 4.0 in practical application – Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Anwendung Technologien Migration** in: BAUEHNHANS, T.; TEN HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSER, B. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. P. 57-84

SILVA, M. C. A.; GASPARIN, J. L. **A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a educação escolar brasileira.** 2004

SINGER, P. **Desemprego e exclusão social. São Paulo em perspectiva**, São Paulo, v.10, p.1, 1996.

WANG, S., WAN, J., LI, D., & ZHANG, C. **Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook.** *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>

WELCOME TO THE REVOLUTION: The I4.0 concept becomes a reality. United States: AMS, 2017. Annual.

WERKE, Bayerische M. **BMW Group Annual Report 2019.**

WINCK, Ben. **The auto industry is shrinking as the world reaches 'peak car' — and it's dragging down the entire global economy.** Market Insider. 30/10/2019, 17:41. Disponível em: <https://markets.businessinsider.com/news/stocks/auto-industry-shrinking-at-peak-car-dragging-global-economy-lower-2019-10-1028644883#supply-constraints1>.

YEN, C. *et al.* **Advanced Manufacturing Solution to Industry 4.0 trend through Sensing Network and Cloud Computing Technologies.** *IEEE International*

Conference on Automation Science and Engineering. 2014.
<https://doi.org/10.1109/CoASE.2014.6899471>

YOO, Y. *et al.* **Research Commentary—The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems Research.** *Information System Research*, v.21, p. 724-735. <https://doi.org/10.1287/isre.1100.0322>