

A

nálise da Indústria 4.0 como Elemento Rompedor na Administração de Produção

Recebido: 05/08/2018

Aprovado: 09/12/2018

¹Ismael Luiz dos Santos
²Ruan Carlos dos Santos
³Daniel de Souza Silva Junior

Resumo

A Primeira Revolução Industrial potencializou a motorização da produção através da máquina a vapor, a Segunda Revolução Industrial, por meio do aço e da eletricidade, deu vida à produção em massa. Uma Terceira Revolução pode ser atribuída à automatização eletrônica das linhas produtivas e agora, segundo Schwab (2016), o mundo está assistindo a Quarta Revolução Industrial baseada na digitalização dos processos industriais. Este artigo faz uma abordagem histórica do pensamento da administração da produção demonstrando a sua evolução ao longo de sete períodos. Por meio de uma pesquisa bibliográfica será apresentado os principais elementos que compõe a Indústria 4.0. Além de analisar o seu impacto sobre o sétimo período da Administração da Produção.

Palavras chaves: Indústria 4.0. Administração da produção. Sétimo período da administração da Produção.

Analysis of the Industry 4.0 How Breaking Element in Production Administration

Abstract

The First Industrial Revolution potentiated the power of production through the steam engine, the Second Industrial Revolution, through steel and electricity, gave life to mass production. A Third Revolution can be attributed to the electronic automation of production lines and now, according to Schwab (2016), the world is witnessing the Fourth Industrial Revolution based on the digitization of industrial processes. This article takes a history approach of production management thinking demonstrating its evolution over seven periods. Through a bibliographical research will be presented the main elements that make up the Industry 4.0. In addition to analyzing its impact on the seventh period of Production Management.

Keywords: Industry 4.0. Production administration. Seventh period of production management.

¹Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI, Santa Catarina, (Brasil). E-mail: ismael.luiz.santos@gmail.com Orcid id: <https://orcid.org/0000-0002-1854-7982>

²Secretaria de Educação do Estado de Santa Catarina – SED, Santa Catarina, (Brasil). E-mail: ruan_santos1984@hotmail.com Orcid id: <http://orcid.org/0000-0001-7396-8774>

³Faculdade AVANTIS, Santa Catarina, (Brasil). E-mail: danielss.j@hotmail.com Orcid id: <https://orcid.org/0000-0002-6224-8082>

Introdução

Nos últimos duzentos anos a Administração da Produção vem se consolidando com ferramentas que tiveram origem em diversas áreas do conhecimento como da estatística, da psicologia, da sociologia e das engenharias. Estas ferramentas proporcionaram aos agentes de comando da produção uma melhor assertividade dos indicadores e naturalmente um melhor resultado com recursos otimizados. À medida que a Administração da Produção foi ganhando espaço dentro das fábricas um arcabouço técnico e metodológico passou a integrar as tarefas diárias nas linhas produtivas. O que começou com a escalada da produção através da divisão de tarefas e da força mecânica da máquina a vapor no final século XVIII, ganhou amplitude com chegada da energia elétrica nos parques industriais, padronização através dos trabalhos de Frederick Taylor, humanização a partir dos experimentos de Hawthorne, qualidade dentro das indústrias japonesas, americanas e europeias, e a globalização trouxe Revolução dos Serviços no começo dos anos 90.

A Indústria 4.0 é o mais novo fato que veio a compor esta longa lista de fenômenos que a Administração da Produção está absorvendo. Entende-se por Indústria 4.0 a manifestação de um conjunto de tecnologias de base digital nas linhas produtivas com objetivo de virtualizar processos. Este artigo desenvolve uma reflexão sobre a Indústria 4.0 bem como seu impacto na formação do pensamento da Administração da Produção, analisando as inovações tecnológicas que tenham potencial absorção nos processos produtivos das empresas. Deste modo a pergunta problema aqui poderia ser facilmente resumida em como se dá a consolidação da Indústria 4.0 na Administração da Produção? E de que modo a Indústria 4.0 contribui para a consolidação do sétimo período da Administração da Produção?

Fundamentação Teórica

Tanto a categorização da evolução da Administração da Produção em períodos quanto o aparecimento do fenômeno Indústria 4.0, são assuntos relativamente novos nas literaturas da Administração Geral. De maneira objetiva e sucinta ambos os temas serão fundamentados teoricamente nesta presente seção tendo em vista contextualizar a relevância da Indústria 4.0 na formulação do conhecimento na Administração da Produção. Zaccarelli (1990) lembra como a administração da produção começou a ganhar destaque entre os industriários ocidentais depois do milagre da indústria japonesa no final da década de 80. Porém sua presença já era uma realidade desde a Revolução Industrial.

A Evolução da Administração da Produção Vista em Períodos

A Primeira Revolução Industrial na Inglaterra pouco a pouco colocou fim ao sistema de produção manual e introduziu um novo sistema de produção guiado por máquinas. O

caráter industrial deu a cada lar de artesãos na Inglaterra condições para multiplicar mercadorias, Hobsbawm (1996, p. 28) destaca que “os grilhões do poder produtivo das sociedades humanas” foram retirados abrindo uma estrada para a produção em escala. Este primeiro período é marcado por certo nível de pioneirismo onde se buscou soluções em máquinas experimentais para os processos produtivos da mineração, têxtil e armamentista destaca Gaither e Frazier (2002), Martins e Laugeni (2005), Peinado e Graeml (2007) e Corrêa e Carlos (2007). No Quadro I é possível notar a evolução do pensamento da administração da produção ao longo de seis períodos históricos começando pela Revolução Industrial inglesa até a era dos serviços.

Tabela 1- Períodos da Administração da Produção

	1º Período		2º Período		3º Período	4º Período	5º Período	6º Período
Peinado (2007)	Revolução Industrial		Tentativas, erros e acertos		Consolidação da adm. c/ ciência	Abordagem Quantitativa	Qualidade	Cadeia de suprimentos
Martins (2005)	Revolução Industrial		Era da Produtividade	Produção em Massa		Revolução enxuta		
Corrêa (2007)	Formação da Industrial		Eficiência na Indústria	Componente social no trabalho		Revolução na ind. japonesa	Gestão de operações	Gestão estratégica de operações
Gaither (2002)	Revolução Industrial	Pós-guerra civil americana	Administração Científica	Movimento das relações humanas		Abordagem por sistemas, técnicas matemáticas e equipes interdisciplinar		Revolução dos serviços
Deloitte (2015)	1ª Revolução industrial (máquina a vapor)		2ª Revolução industrial (eletricidade)					3ª Revolução industrial (automação industrial)

Fonte: Elaborado pelos autores.

O primeiro período é marcado pelo fim do sistema produtivo caseiro ainda no século XVIII quando os equipamentos que dependiam da força dos rios e gradativamente foram adaptados às máquinas à vapor de Thomas Newcomen e de James Watt que passaram a dominar os grandes centros urbanos ingleses. O ano de 1776 foi emblemático para o ocidente devido à publicação do livro A Riqueza das Nações de Adam Smith que detalhava a economia de mercado com a sua Divisão do Trabalho, também foi o ano da Declaração de Independência dos Estados Unidos da América e também foi o ano que James Watt instalou com grande sucesso a sua máquina a vapor por ele melhorada na Universidade de Glasgow, observa Nuvolari (2004). Fábricas têxteis inglesas aumentaram sua escala de produção com a força das máquinas, começou a ser exigido um aumento na velocidade de produção do algodão nos Estados Unidos. A mecanização do processo de descaroçamento do algodão abriu novas possibilidades para a produção americana como a uniformidade de seus processos industriais (Woodbury, 1960; Chandler, 1977; Hobsbawm, 1996; Nuvolari, 2004; Corrêa & Carlos, 2007).

Após a guerra Civil Americana surge a Segunda Revolução Industrial agora nos Estados Unidos, um espírito inventivo amparado cientificamente toma conta. Por meio do aço de Henry Bessemer e Robert Mushet, ou a eletricidade de Thomas A. Edison e Nikolas Tesla e o telefone de Graham Bell, foi possível trazer ao mercado novos produtos e novas necessidades. E com peças intercambiáveis somadas ao aço barato, eletricidade e

ferrovias, o método de fabricação em massa se estabeleceu como modelo de produção. Estruturou-se assim uma economia de mercado americana baseada no consumo, a produção em massa teve início nas fábricas de armas de fogo depois relógios, fechaduras, máquinas de escrever, máquinas de costura, bicicletas, motores e por fim se tornou modelo na Europa como lembra os autores Chandler (1977), Hobsbawm (1996) e Mokyr e Strotz (2003).

Neste volume de crescimento produtivo surge o taylorismo que se destacou por buscar eficiência e produtividades nos processos acabando com o desperdício e o esforço desnecessário do trabalhador na execução de suas tarefas. Este é o segundo período da Administração da Produção como destacaram Peinado e Graeml (2007). Com sua mensagem de eficiência por meio de cálculos, cronometragens e métodos de organização o taylorismo teve como consequência o fordismo que é a incorporação do taylorismo. O fordismo inovou ao introduzir a linha de produção móvel do Ford "T" e a remunerar cinco dólares por oito horas de trabalho. Já o fayolismo, descoberto posteriormente, seguiu um caminho diferente dos trabalhos de Taylor e Ford, o francês Henri Fayol se dedicou a estudar o sistema administrativo das indústrias. O fayolismo propôs uma administração que se preocupasse em planejar e comandar a organização lembra Silva (1960), Gaither e Frazier (2002), Peinado e Graeml (2007) e Corrêa e Carlos (2007).

Sob a égide da produção em massa os experimentos de Hawthorne liderados por Elton Mayo em 1930 revelaram que a produtividade na execução de suas tarefas poderia ser aumentada se o trabalhador fosse motivado. Neste terceiro período da administração da Produção a concepção taylorista de que a fadiga estava ligada à constituição fisiológica do trabalhador começou a ser superada pelos estudos de Mayo que demonstrou que o rendimento do indivíduo era condicionado pelo aspecto social. Pesquisadores como Abraham Maslow, Frederick Herzberg e Douglas McGregor oferecem modelos analíticos que possibilitaram trabalhar os componentes psicológicos do trabalhador no processo de produção. A escola de relações humanas demonstrou que no processo produtivo a atenção deve estar no trabalhador, no indivíduo, porque para mantê-lo motivado não bastava pagar altos salários, mas motivá-lo destacou Kolasa (1978) e Corrêa e Carlos (2007).

As guerras mundiais trouxe uma abordagem quantitativa para a linha de produção das empresas ocidentais, aplicando algoritmos matemáticos e técnicas estatísticas até então utilizadas em outras áreas do conhecimento. A Pesquisa Operacional através da programação linear, a PERT/COM, modelos de previsão e o Sistema Toyota de Produção (STP) provocaram uma grande reviravolta da indústria japonesa depois da Segunda Guerra Mundial. O sistema STP tinha como pilar o *Just-in-time* (JIT) e o "zero de defeito". O objetivo dessa filosofia era identificar e combater o desperdício e perseguindo esse propósito formou-se um novo modelo de produção. O Quarto período da Administração da Produção foi marcado por uma profunda transformação da indústria japonesa que ao

observar o nível de produtividade americana buscou alternativas para a sua realidade em âmbito nacional, destaca Ghinato (1995), Gaither e Frazier (2002), Corrêa e Carlos (2007), Peinado e Graeml (2007), Rao (2009).

Diante do bom resultado do Sistema Toyota de Produção nas terras orientais a indústria ocidental se mobilizou para rever seus conceitos de qualidade, nasce assim o quinto período da Administração da Produção com destaque para a era da qualidade. A busca por qualidade elevou os padrões de produção da indústria nipônica fazendo frente ao parque industrial americano. Este destaque da indústria japonesa pode ser percebido quando a fábrica da Ford na Batavia subcontratou a Mazda do Japão para lhe fornecer transmissões de melhor qualidade comenta Walton (1989). Para retomar a dianteira uma abundância de filosofias, metodologias e programas invadiram as fábricas americanas e européias estimulando a produção com qualidade. O Romêno Joseph Juran que formou em engenharia nos Estados Unidos e participou do avanço da indústria japonesa no pós-1945 como consultor se tornou um dos pensadores da qualidade na indústria. Para Juran a qualidade precisa ser planejada e neste planejamento é preciso levar em consideração o cliente, o processo e o fornecedor.

Muitas ferramentas, técnicas e metodologias voltadas para a qualidade surgiram ou foram aprimoradas neste quinto período. O Controle de Qualidade Total (TQC) de Armand Feigenbaum, os Círculos de Controle de Qualidade (CCQ) de Kaoro Ishikawa e a aparição das Sete Ferramentas da Qualidade, lembram Gaither e Frazier (2002), Corrêa e Carlos (2007) e Peinado e Graeml (2007). Em termos de técnicas produtivas os avanços alcançados na indústria japonesa com o *just-in-time* e o movimento pela qualidade nas empresas americanas e japonesas ainda permanecem em voga no momento. A automação da produção nas empresas levaram as mesmas a uma forte competição em escala global e as operações passaram a ser o foco da gestão. Slack, Chambers e Johnston (2009) destacam que o crescimento do comércio eletrônico categorizou o relacionamento interno das cadeias de suprimentos em quatro tipos como demonstra a Figura 1.

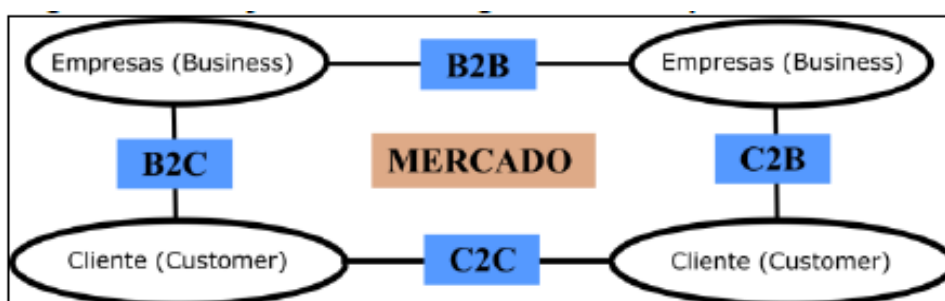


Figura 1 - Relação mercadológica entre empresas e clientes

Fonte: Adaptado Slack, Chambers e Johnston (2009).

O que se observa no esquema esboçado acima é uma rede de players onde as operações internas de uma organização seriam geridas de forma sistêmica e não mais isolada, adotando uma perspectiva mais ampla, isto é, "Gestão de Redes de Suprimentos". A

relação (cliente/cliente), (empresa/empresa), (empresa/cliente) e (cliente/empresa), reflete a profunda complexidade que o administrador da produção precisa lidar com a relação: fornecedor-operação-cliente para responder rapidamente as demandas dos mercados. A Terceira Revolução Industrial baseada na eletrônica se deu no interior da indústria denominada de 3.0 começando ainda na década de 70 quando se desenvolveu o primeiro sistema de controle lógico programável (PLC) destaca o relatório da Deloitte (2015). O monitoramento dos processos fabris via eletrônica proporcionaram uma nova onda de mercados, através do fornecimento de serviços, a ser explorada pelas organizações na expectativa de se diferenciar da concorrência. Gaither e Frazier (2002) chamaram este período de Revolução dos Serviços quando se começou a aplicar um alto nível de intangibilidade no fornecimento de produtos no mercado.

Os autores Peinado e Graeml (2007) e Corrêa e Carlos (2007) observam que o sexto período da Administração da Produção pode ser entendido como um momento em que as indústrias se lançam numa competição em escala global refinando cadeias de suprimentos e adotando operações internas que garantam o posicionamento de seus produtos em qualquer ponto do globo. A internet reforçou esta competição através da customização de produtos, compras comparadas e internacionalização de clientes. Martins e Laugeni (2005) veem este período como um prolongamento da revolução enxuta iniciada dentro das fábricas japonesas com o toyotismo.

Fenômeno da Indústria 4.0

Os processos controlados pelos PLCs colocou a máquina num outro patamar dentro da linha de produção fabril, por meio da automação muitas tarefas repetitórias passaram a ser executadas por máquinas programadas. Agora as linhas produtivas possuem atributos que na Primeira Revolução Industrial não se vislumbrava. A interconectividade entre bilhões de pessoas, por exemplo, proporcionando profundas transformações na oferta de produtos e serviços, Schwab (2016) destaca que esta Quarta Revolução Industrial por meio da inovação tecnológica causará profundas rupturas na cadeia de valor das empresas. Klaus Schwab enfatiza que as plataformas programadas para combinar oferta e demanda desafiará as estruturas industriais através do "compartilhamento" e do "sob demanda". Observa Schwab (2016, p. 18, **grifo nosso**) "*These technology platforms, rendered easy to use by **the smartphone, convene people, assets, and data**—thus creating entirely new ways of **consuming goods and services in the process***". Em outras palavras Schwab está indicando que a Indústria 4.0 é resultado de uma série de avanços industriais, já sintetizado de modo objetivo na primeira parte desta fundamentação teórica, que em último nível está alterando as estruturas de mercado.

Diante de sua importância a Indústria 4.0 não pode ser entendida como um fenômeno elementarmente tecnológicos, mas numa dimensão social. Os autores Roblek, Mesko e Krapez (2016) enfatizam que o conceito de Indústria 4.0 está ligado a um sistema de

fábricas inteligentes, flexíveis e dinâmicas equipadas a sensores autônomos e a máquinas capazes de tomar decisões até então executados por seres humanos. Também envolve a produção de diversos bens tais como carros, camisetas, relógios inteligentes equipados com sensores e microchips interconectados pela Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) a smartphones e outros equipamentos em que permitam um fluxo de comunicação entre diversas instâncias.

O conceito de Indústria 4.0 também envolve as chamadas Cidades Inteligentes (*Smart City*) em que a economia, a mobilidade, o meio ambiente, as pessoas, as moradias e os governos serão digitalizados dados rapidez a troca de informações, destacam Roblek, Mesko e Krapez (2016). Os relatórios técnicos da DELOITTE (2015) e da BVL (2016) demonstraram que o modo de fabricação de mercadorias e o ambiente produtivo sofreram flagrantes transformações em suas estruturas ao longo dos últimos duzentos anos como é possível observar na Figura 2.

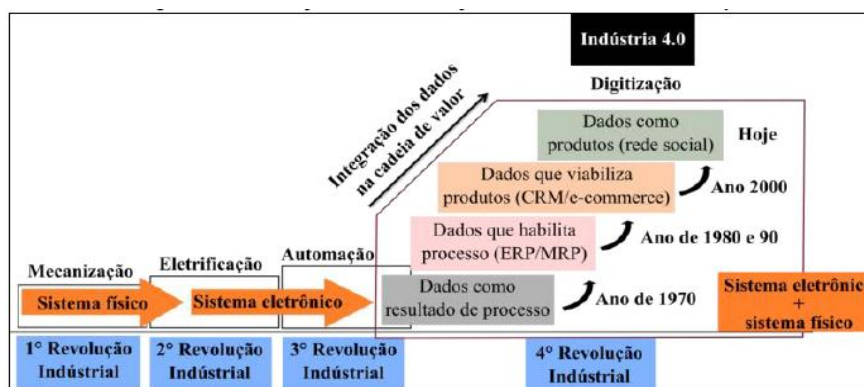


Figura 2 - A formação da 4ª Revolução Industrial através do tempo

Fonte: Adaptado DELOITTE (2015), Schwab (2016) e BVL (2016).

A figura acima procura agregar em um único esquema o processo transformador no interior da indústria, desde a mecanização, passando pela absorção de sistemas eletrônicos que acabaram por gerar a automação industrial que inicializou o tratamento dos dados. Os dados sempre existiram dentro da indústria e no mercado, no entanto o seu tratamento e viabilização como agente direcionador estratégico é que é a grande inovação na Indústria 4.0, mediante o fenômeno da digitalização. A digitalização é a integração dos dados na cadeia de valor, e as inovações tecnológicas estão dispondo dados como produtos e não mais como resultado de um processo apenas. Schwab (2016) pondera que a Quarta Revolução Industrial traz uma velocidade exponencial sobre os processos e não mais linear. A amplitude em termos de escopo e impacto está provocando uma dilatação extraordinária nos sistemas de produção, gerenciamento e governança nas empresas. Foi neste contexto que a Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016) entendeu a Indústria 4.0 como uma quarta versão de um sistema produtivo em que mundos virtuais e físicos se juntam a internet ao longo dos processos de manufatura, design, produto e operações industriais. Ou seja, fornecedores, distribuidores, unidades fabris e o próprio produto estão

conectados digitalmente garantindo uma maior integração da cadeia de valor das organizações. No relatório da Comissão Europeia que monitora a transformação digital na Alemanha, foi destacado o seguinte:

*"Industrie 4.0" (Industry 4.0 (I40)) is a national strategic initiative from the German government through the Ministry of Education and Research (BMBF) and the Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). It aims to drive digital manufacturing forward by **increasing digitisation and the interconnection of products, value chains and business models**. It also aims to support research, the networking of industry partners and standardisation." (EUROPEAN COMMISSION, 2017, p.3, **grifo nosso**).*

Observe que na visão da Comissão Europeia a Indústria 4.0 se estabelece na *digitisation* ou digitização e interconectividade entre produtos, cadeias de valor e modelos de negócios, como também incentiva parcerias industriais, padronizações e valoriza a pesquisa. Mais a frente a Comissão Europeia deixa claro que a Indústria 4.0 tem por finalidade integrar sistemas ciber-físicos a internet das coisas e serviços (IoTS) de tal maneira que traga produtividade, eficiência e flexibilidade nas produções. Basicamente o que se visualiza na Quarta Revolução Industrial da Figura 2 é o escalonamento do processo de digitização que embrionariamente iniciou ainda na década de 70, mas se manifesta com mais intensidade nos dias atuais.

No que tange as inovações digitais em evidência na atualidade Schwab (2016b) aponta quatro princípios que devem orientar as medidas práticas frente a este avanço tecnológico. Em primeiro lugar, segundo o especialista, a comunidade atual deve se concentrar em sistemas e não na simples tecnologia. Um segundo princípio é capacitar a sociedade para dominar estas tecnologias, no intuito de afastar uma visão fatalista do progresso. A terceira diretriz diz respeito a priorizar o design e não o padrão, porque a absorção destas tecnologias se dará de uma maneira dinâmica e concomitante. E por fim a sociedade deve se concentrar nos valores que as novas tecnologias sugerem e não na confusão que as mesmas podem disseminar.

Procedimentos Metodológicos

O presente artigo busca compreender como o novo período da Administração da Produção se consolidará se dá à medida que acontece o rompimento com o período anterior conduzido pela Indústria 4.0. O problema do rompimento com sexto período da Administração da Produção, embora possa se questionar a sua natureza prática do tema, é uma constatação que surge corroborada pelas inegáveis mudanças tecnológicas ocorridas nos últimos cinco anos. Estas mudanças possivelmente impactaram diretamente a abordagem na administração da produção dentro das fábricas. Sendo assim o presente trabalho se debruça sobre um tema pouco conhecido e que, portanto, se torna necessário uma pesquisa de caráter exploratória com o objetivo de elucidar esta questão.

A pouca disponibilidade de dados sobre o tema em questão Gil (2002) e Alyrio (2009) orienta a consulta de fontes primárias e secundárias com o objetivo compreender de que forma a Indústria 4.0 influencia as técnicas e metodologias na Administração da Produção.

Segundo Gil (2002), não é comum utilizar técnicas quantitativas na coleta de dados em pesquisa exploratória, mas levantamentos bibliográficos e documentais. O procedimento para a coleta de dados documentais tem por base as fontes primárias, isto é, documentos originais, e fontes secundárias que são documentos trabalhados por editores e autores com autoridade sobre o assunto.

Além disso Lakatos e Marconi (2003) destacam que as fontes podem ser escritas ou não e classificadas como contemporâneas ou retrospectivas. Para este artigo a Tabela 1 apresenta uma lista de documentos consultados pelos presentes articulistas visando o levantamento de dados que testificam a materialização da Indústria 4.0.

Tabela 1 - Lista de Fontes Primárias e Secundárias de dados para pesquisa

Origem das fontes	Fontes Primárias	Fontes Secundárias
Confederação Nacional das Indústrias (CNI)	- Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil – (CNI, 2016) - Sondagem Especial: Indústria 4.0 (CNI, 2016b)	
Federação das indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN)	- Panorama da Inovação – Indústria 4.0. (FIRJAN, 2016) - Panorama da Inovação – Indústria 4.0: Internet das Coisas (FIRJAN, 2016)	
Associação Alemã de Fabricação de Máquinas e Instalações Industriais - VDMA	- Industrie 4.0 in practice – Solutions for industrial applications (VDMA, 2016)	
Fórum Mundial Econômico	- System Initiative on shaping the Future of Production: Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains (2017)	- Publicações de Klaus Schwab (2016)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando os documentos relacionados na Tabela I foi possível levantar informações relativas a elementos tecnológicos como a Inteligência Artificial, Robótica, Internet das Coisas, veículos Autônomos, impressão 3D e a nanotecnologia que estão em implantação nos parques industriais. De posse dessas informações o presente articulista buscou formular hipóteses que viessem a contribuir na atualização do conhecimento na área da Administração da Produção. Lakatos e Marconi (2003) salienta que o Método Indutivo é um processo mental que parte dos dados coletados e constatados na realidade e infere uma verdade geral, partindo das premissas para alcançar uma conclusão. Desta forma a pesquisa trabalhou com dados qualitativos que possibilitaram a construção de uma base teórica que no último estágio foi comparado com a fundamentação teórica, já desenvolvida neste artigo.

Na pesquisa documental de natureza qualitativa costuma-se redigir um texto que faça progressão entre observações, reflexões e interpretações das informações recolhidas nas fontes, diz Gil (2002). Lakatos e Marconi (2003) corroboram dizendo que a análise e interpretação dos dados são atividades distintas, na primeira trata-se de uma tentativa de

evidenciar a correlação entre o fenômeno estudado e os seus diversos fatores. Já o segundo é uma atividade intelectual que procura dar um significado mais amplo aos resultados encontrados podendo ser executado em três níveis o da interpretação das variáveis, explicação das mesmas e especificação de suas interdependências.

Em resumo na interpretação dos dados o investigador procura dar um significado para as respostas encontradas na fase de análise de dados. A interpretação pode se dar em dois aspectos ou construindo um modelo lógico ou um esquema que clarifique a pesquisa fazendo ligações entre a teoria e o fenômeno. Neste artigo buscou-se construir um modelo que possibilite a visualização do progresso histórico do pensamento administrativo nas linhas de produção.

Resultados

O relatório World Economic Forum – WEF (2017), apontou cinco tecnologias chaves que estão em diferentes níveis de penetração no setor industrial, mas que impactam significativamente a cadeia de suprimentos isoladamente ou não, são elas: Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Robótica Avançada, acessórios inteligentes (*smartwatches*, por exemplo) e sistema de impressão 3D. O grau de penetração destas tecnologias podem ser percebidas no Gráfico 1 onde os mesmos estão distribuídas de acordo com seu nível de implementação e grau de relevância tecnológica para a indústria.

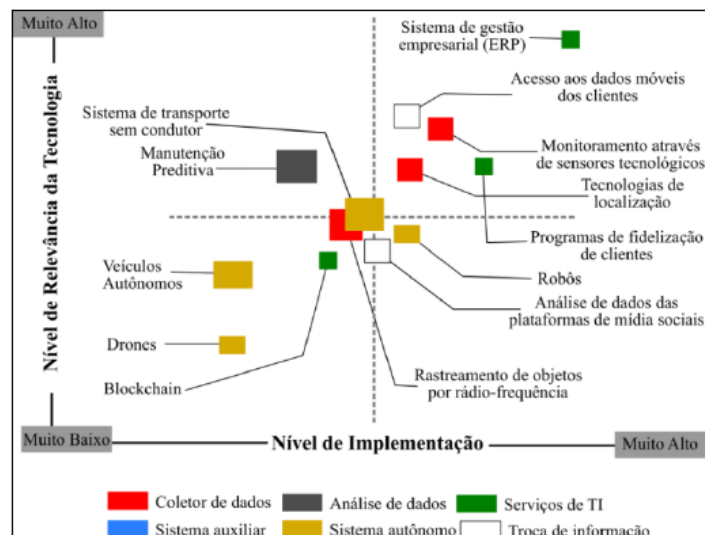


Gráfico 1 - Grau de Relevância e implantação das tecnologias
Fonte: World Economic Forum – WEF (2017).

O gráfico oferece subsídios para se compreender a natureza de algumas tecnologias chamadas pelo WEF (2017) de disruptivas, revelando seu estágio de desenvolvimento e penetração na sociedade. As tecnologias que estão no quadrante Baixo/Baixo possuem pouca penetração no mercado e ainda estão em fase de testes e experimentos. É o caso dos drones, por exemplo, que embora seja uma tecnologia muito promissora, sua aplicabilidade mercadológica ainda sofre ajustes em termos de autonomização. Em contraste, na outra ponta estão os sistemas de ERPs no quadrante Alto/Alto, cuja

penetração mercadológica é extremamente alta em relação as outras tecnologias o que pode-se inferir que sua ausência numa determinada empresa colocará em risco a sobrevivência da mesma.

Os autores Pfohl, Yahsi e Kurnaz (2015) destacam que a base desta Indústria 4.0 é a digitização que se desdobra por entre diversas tecnologias de natureza socializadora, autônomas, móveis, modulares (resultado de uma relação positiva entre montadoras e parceiros), colaborativas e fomentadoras de transparência. Todos estes atributos alteram a cadeia de valor dentro do mercado uma vez que o quesito valor não se manifesta apenas num sentido de troca, mas na contemplação de todos estes elementos supracitados.

A figura 3 faz um sintetização destes elementos característicos da Indústria 4.0 e setoriza esquematicamente algumas das tecnologias levando em conta a sua natureza. É valido observar que o Gráfico 1, a Figura 2 e a Figura 3, é a busca do presente autor, tendo por fonte publicações especializadas, em ordenar e categorizar um difuso e complexo ecossistema de tecnologias que se atualiza a todo momento. Mas o princípio científico se concentra na percepção da aplicabilidade deste ecossistema na condução da produção.

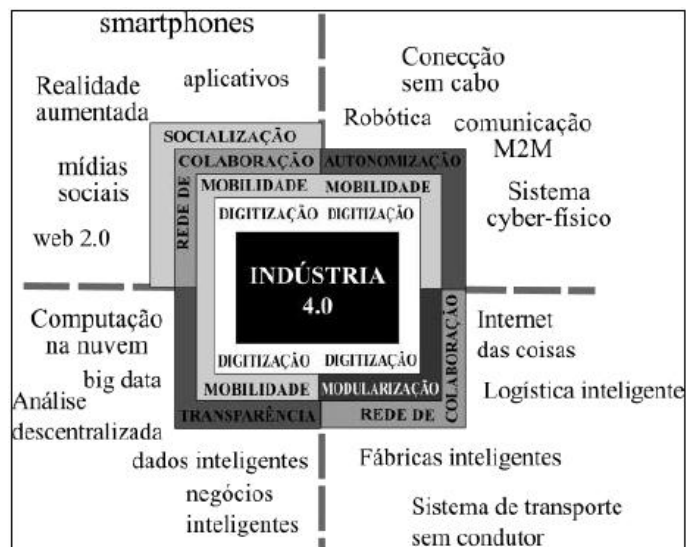


Figure 3 - Mapa dos principais conceitos em torno da Indústria 4.0

Fonte: Adaptado Pfohl, Yahsi e Kurnaz (2015).

O mapa da Figura 3 demonstra que por meio de estruturas industriais modulares, fábricas inteligentes, sistemas logísticos inteligentes, além da internet das coisas, a Indústria 4.0 desenvolverá uma rede colaborativa entre stakeholders. A relação montadoras e parceiros será desenvolvida em plataformas inteligentes totalmente móveis e fomentadoras da transparência. Esta mobilidade também proporcionará a autonomização de processos mediante a comunicação entre máquinas (M2M), sistemas robóticos construídos sobre uma base cyber/físico. Pfohl et al. (2015) argumentam que a Indústria 4.0 reduzirá de maneira substancial o contato Homem-Máquina (H2M) e aumentará a relação Máquina-Máquina (M2M) eliminando falhas e melhorando o ciclo e assertividade dos processos produtivos.

O caráter móvel da atual tecnologia somado a força colaborativa presente na mesma trará uma sólida conectividade socializadora no mercado alterando a relações de consumo sob diversos aspectos.

O relatório do fórum da Associação Alemã de Fabricação de Máquinas e Instalações Industriais – Verband Deutscher Maschinen Und Anlagenbau – VDMA (2016) buscou entender de que maneira as empresas poderiam se beneficiar da Indústria 4.0. Nesta publicação foram apresentados uma série de soluções tecnológicas de empresas como ABB, Bosch, Festo, GE, Karcher, Parker, Rexroth, SAP e Siemens que trouxe a realidade da Indústria 4.0. A Tabela 2 algumas destas principais tecnologias desenvolvidas pelas corporações e as suas contribuições para as linhas produtivas permitindo o aparecimento da Indústria 4.0.

Tabela 2- Algumas tecnologias que materializam a Indústria 4.0

Empresa	Soluções Tecnológicas	Impactos na Produção
ABB	Robô YuMi	Equipado com braços articulados e um sofisticado sistema de câmeras e sensores, YuMi é capaz de trabalhar lado a lado com seres humanos nas linhas de produção. Além disso esta tecnologia permitirá a introdução de aplicativos que darão novas funcionalidades de acordo com a demanda das linhas de produção.
Bosch	TraQ	A Bosch desenvolve uma tecnologia capaz de monitorar em tempo real as condições físicas dos produtos ao longo do transporte. Por meio da Internet das Coisas sensores conectados ao produto podem fornecer informações como temperaturas, choques e humidades.
Festo	CP Factory	A solução CP Factory integra PLCs, Sensores e atuadores de tecnologias radiofrequências, como também estão conectados a um Sistemas de Gestão que deste modo permite a ordenação de um grande volume de dados possibilitando desenvolvimento de produtos, capacitação de profissionais.
Rexroth	ActiveAssist	Trata-se de uma plataforma virtual instalada a uma estação de trabalho que orienta o trabalhador nos passos de montagem. Reduzindo erros no processo e de maneira intuitiva o profissional desenvolve tarefas de alta qualidade se interagindo diretamente com o ActiveAssist.
GE	Brilliant Manufacturing Suite	Uma solução virtual em que os vários dados de produção são digitalizados e armazenados em nuvem. Estes podem ser acessados e navegados pelos usuários através de dispositivos compatíveis para fins de análises e melhorias nos processos.
Karcher	Produção Guiada por QR code	Para montar máquinas de lavar chão customizadas, a Karcher desenvolveu um sistema que envolve bancos de dados dos pedidos do cliente, fábricas inteligentes orientadas por QR codes que viabilizam o processo de montagem dos produtos de acordo com as especificações e necessidades do cliente. Permitindo ao final da fabricação um histórico de cada equipamento customizado para futuras consultas.
KUKA	KMR iiwa	Uma plataforma robótica móvel repleta de sensores que circula no chão de fábrica repondo unidades nas caixas de peças das linhas produtivas. Sua circulação é orientada por uma rede de conectividade com fábricas inteligentes permitindo um compartilhamento de trajetos comuns com humanos e trens de montagem nas linhas produtivas.
Schaeffler	Machine Tool 4.0	Esta tecnologia envolve a operação de máquinas ferramentas que fornecem um alto volume de dados digitalizados que podem ser integrados via IoT e armazenados em nuvem. Este big data serão usados como recursos tanto na aferição de processos produtivos quanto na orientação mercadológica.

Fonte: Verband Deutscher Maschinen Und Anlagenbau – VDMA (2016).

A lista de tecnologias apresentada na Tabela II demonstra de maneira objetiva a natureza das inovações que a Indústria 4.0 está trazendo. Um grupo de softwares sofisticados que visam a integração de vários pontos das linhas produtivas, manipulando big datas fornecidos por equipamentos inteligentes robotizados. No coração de fluxo de

informações estão as armazenagens em nuvem que conectam CRMs, ERPs e uma infinitas listas de Sistema de Gestão que instrumentalizam as corporações para um novo nível de competitividade.

Ao analisar em conjunto o Gráfico 1, a Figura 3 e a Tabela II desta seção de resultados, infere-se que a Indústria 4.0, norteadada pela digitalização dos dados de máquinas, processos e pessoas, por produtos personalizados e plantas altamente flexíveis, inaugura um novo paradigma para a Administração da Produção o que poderia ser entendido como a gestão de padrões nas fábricas inteligentes distribuídas.

Como pode ser observada na Figura 4, a produção globalizada exigira altos níveis de padronização no interior das fábricas distribuídas e uma gestão eficiente dos diversos recursos garantindo qualidade na produção dos bens e seu acompanhamento ao longo do uso pelo consumidor.



Figura 4 – O conceito de Fabricação Distribuída

Fonte: World Economic Forum – WEF (2017).

O Conceito de Fabricação Distribuída envolve a especialização, a disponibilidade de recursos e o nível tecnológico de cada país que abrigará cada fábrica, destaca WEF (2017). No entanto é indispensável à interconectividade entre as unidades fabris viabilizando o fortalecimento da cadeia de valor da organização com um contínuo acompanhamento de produtos também inteligentes.

O Relatório WEF (2017) observa que a Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial exigirá novos níveis de habilidades dos trabalhadores como soluções de problemas, criatividade e imaginação.

Considerações Finais

Portanto o arcabouço metodológico e ferramental desenvolvido pela Escola da Administração Científica, Relações Humanas, Gestão de Operações e Cadeia de Suprimentos tende a ser perturbado por esta gama de inovações disruptivas já relacionadas neste trabalho. Novos conceitos estão sendo agregados aos pátios de produção como a digitização e a autonomização por meio da relação *Machine-to-Machine* (M2M) limitando a manipulação de recursos pelas mãos humanas no interior das indústrias.

Outra consideração a ser observada é a utilização da palavra "digitização" no corpo deste artigo como tradução direta do inglês *digitisation* muito recorrente em relatórios técnicos

internacionais. Optou-se por este vocábulo em concordância com os relatórios sobre a Indústria 4.0 como os divulgados pela PWC (2016). Portanto o que se pode concluir de todo este estudo é a real evidência do sétimo período da Administração da Produção. A Figura 5 relaciona as revoluções industriais anteriores com os períodos da Administração da Produção e ordenando os seus respectivos elementos rompedores de períodos.

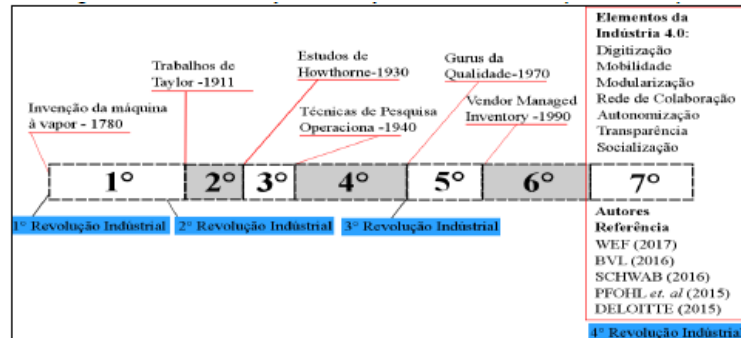


Figura 5 - Elementos rompedores de período da Administração da Produção
 Fonte: Elaborado pelos autores.

Cada elemento rompedor de período desde a máquina a vapor até o *Vendor Managed Inventory* (VMI), que é a gestão do estoque pelo fornecedor, o pensamento da Administração da Produção se desenvolvia de forma linear e pouco difuso. Porém a grande característica do sétimo período é que a consolidação deste período se dá através de um conjunto de elementos tecnológicos de diversas naturezas que embora na Figura 5 apareçam em forma de conceitos, ambos se manifestam nos parques industriais em tecnologias altamente complexas e interconectadas. Os autores relacionados no esquema possuem um perfil técnico e portanto estão a catalogar cada componente tecnológico desta Quarta Revolução Industrial. Os princípios propostos por Klaus Schwab, esquematizado no Quadro 2, devem ser introduzidos neste sétimo período da administração da produção por meio de métodos e ferramentas que privilegiem a coexistência destas diversas tecnologias na linha de produção. O desdobramento da Indústria 4.0 no interior da Administração da Produção deve facilitar a gestão da cadeia de valor e através da virtualização dos processos, oferecer ao mercado produtos e serviços ricos em qualidade, confiabilidade e preços acessíveis.



Quadro 2 - Esquema de uma Administração da Produção 4.0
 Fonte: Elaborado pelos autores.

A abordagem esquemática, desenvolvida por este artigo, tem por objetivo visualizar o grau de complexidade que está motorizando as profundas transformações nas linhas produtivas. As fontes aqui expostas possui em sua maioria uma natureza técnica e não muito didática o que beneficia o contato direto com a realidade objetiva do fenômeno, Indústria 4.0. Como a literatura da administração da produção voltada para a Indústria 4.0 ainda está na fase de consolidação, este artigo espera contribuir positivamente no âmbito conceitual e reflexivo no uso de métodos e técnicas da administração da produção dentro das indústrias.

Referências

Alyrio, R. D. (2009). *Métodos e técnicas de pesquisa em administração*. Rio de Janeiro: CECIERJ.

Azevedo, M. T. (2017). *Transformação digital da Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. São Paulo, Brasil.

BVL International. (2016). *Digitisation in Logistics: Answers and questions that concern companies*. Bremen: BVL. Disponível em < <https://www.bvl.de/misc/filePush.php?id=35437&name=BVL17+Position+Paper+Digitisation+in+Logistics.pdf> > acessado em 24 de fev. 2018.

Chandler, A. D. (1977). *The visible hand*. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press.

Corrêa, H. L. & Carlos, A. C. (2007). *Administração de Produção e Operações*. São Paulo: Atlas.

Confederação Nacional Da Industria – CNI. (2016). *Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil*. Brasília: CNI.

DELOITTE. (2015). *Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. Zurique. Disponível em: < <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf> > Acessado em 23 de fev. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. (2017). *Germany: Industrie 4.0. Digital Transformation Monitor*. União Européia. Disponível em < https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf > Acessado em 28 de abr. 2018.

FIRJAN. Federação das indústrias do estado do rio de janeiro. (2016). *Indústria 4.0 – Rio de Janeiro – FIRJAN*. Disponível em: < <http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4> > Acessado em 28 de abr. 2018.

Gaither, N. & Frazier, G. (2002). *Administração da Produção e Operações*. Tradução: José Carlos Barbosa dos Santos. São Paulo: Pioneira Thomson.

Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas.

Godoy, A. S. (1995). Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. *Revista de Administração de Empresas-RAE*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, Mar./Abr.

Gusmão, S. L. L. (1997). *A influência da customização sobre a cadeia produtiva: uma interpretação analítica*. Porto Alegre.

Hobsbawm, E. J. (1996). *A era das revoluções*. 9.ed. São Paulo: Paz e Terra.

Kolasa, B. J. (1978). *Ciência do comportamento na administração*. Tradução: Octaviano Martins e Fany Malin Tchaicovsky. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos.

Lakatos, E. M. & Marconi, M. A. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas.

Martins, P. G. & Laugeni, F. P. (2005). *Administração da Produção*. São Paulo: Saraiva.

Mokyr, J. & Strotz, R. T. H. (2003). *The Second Industrial Revolution, 1870-1914*. Northwestern University.

Nuvolari, A. (2004). *The Making of Steam Power Technology: A study of Technology Change the British Industrial Revolution*. Tese de Doutorado. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Peinado, J. & Graeml, A. R. (2007). *Administração da Produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: Unicenp.

Pfohl, Hans-C., Yahsi, B. & Kurnaz, T. (2015). *The Impact of Industry 4.0 on the Supply Chain*. Hamburg International Conference of Logistics – HICL. Hamburg: HICL.

Pricewaterhousecoopers - PWC. (2016). *Indústria 4.0: Digitização como vantagem competitiva no Brasil*. Disponível em <<https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>> Acessado em 30 de abr. 2018.

Roblek, V., Mesko, M. & Krapez, A. (2016). *A Complex View of Industry 4.0*. SAGE Open, v. 6, n.2. abr/jun. Disponível em <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2158244016653987> Acessado em 29 de mar. 2018.

Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. Publicado em <<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>> acessado em 20 de fev. 2018.

Schwab, K. (2016b). *Four leadership principles for the Fourth Industrial Revolution*. Publicado em <<https://www.weforum.org/agenda/2016/10/four-leadership-principles-for-the-fourth-industrial-revolution>> acessado em 20 de fev. 2018.

Silva, B. (1960). *Taylor e Fayol*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.

Slack, N., Chambers, S. & Johnston, R. (2009). *Administração da produção*. São Paulo: Atlas.

Verband Deutscher Maschinen Und Anlagenbau – VDMA. (2016). *Industrie 4.0 in practice –Solutions for industrial applications*. Frankfurt: VDMA. Disponível em <<https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/Industrie%204.0%20in%20practice%202016/7fa35030-9456-4de4-8f55-fbd7380d8cf4>> Acessado em 29 de mar. 2018.

Vergara, S. C. (2000). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. São Paulo: Atlas.

Walton, M. (1989). *O método Deming de Administração*. Tradução: José Ricardo Brandão Azevedo. Rio de Janeiro: Marques Saraiva.

World Economic Forum – WEF. (2017). *System Initiative on shaping the Future of Production: Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains*. WEF. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Impact_of_the_Fourth_Industrial_Revolution_on_Supply_Chains_.pdf> Acessado em 24 de dez. 2018.

Zaccarelli, S. B. (1990). *Administração Estratégica da Produção*. São Paulo: Atlas.