

TAXONOMIA DA INDÚSTRIA 4.0: CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS PARA UM NOVO CONTEXTO

Patrick Mota
Ari Melo Mariano
Simão Borges Simão Monteiro

RESUMO

Entender a Indústria 4.0 é assimilar os elementos que a compõem e compreender os processos necessários para implementá-la. O objetivo deste estudo foi realizar uma taxonomia a respeito do tema indústria 4.0, apresentando as principais contribuições, obstáculos e perspectiva a respeito do tema. Para alcançar este objetivo, este estudo iniciou-se com a revisão sistemática via Teoria do Enfoque Metaanalítico Consolidado, apresentando as principais contribuições científicas e fatores-chave de sucesso. Na segunda parte, foi realizada uma entrevista, com seis pesquisadores especialistas na área de indústria 4.0, para discutir os resultados da literatura científica. Se encontraram nove fatores-chave para o sucesso da indústria 4.0 (*Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IOT), *Additive Manufacturing*, *Digital Manufacture (Simulation)*, *Smart Factory*, *Big Data e Analytics*, *Cloud Computing*, *Digital Security e Advanced Robotics*) e os principais obstáculos a implementação destes fatores. Adicionalmente, foram avaliadas as opiniões dos especialistas e categorizando-as via classificação hierárquica descendente e análise fatorial confirmatória, oferecendo um modelo prático de implementação.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Teoria do Enfoque Metaanalítico Consolidado, Entrevista e IRaMuTeQ.

TAXONOMY OF THE INDUSTRY 4.0: THEORETICAL AND PRACTICAL CONTRIBUTIONS TO A NEW CONTEXT

ABSTRACT

Understanding Industry 4.0 is to assimilate the elements that comprise it and to understand the processes necessary to implement it. The objective of this study was to perform a taxonomy regarding the theme industry 4.0, presenting the main contributions, obstacles and perspective regarding the theme. To reach this goal, this study began with a systematic review through the Theory of the Consolidated Meta-Analytic Approach, presenting the main scientific contributions and key factors of success. In the second part, an interview was conducted, with six researchers in the field of industry 4.0, to discuss the results of the scientific literature. There were nine key factors to the success of industry 4.0 (*Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IOT), *Additive Manufacturing*, *Digital Manufacture (Simulation)*, *Smart Factory*, *Big Data and Analytics*, *Cloud Computing*, *Digital Security and Advanced Robotics*) and the major obstacles to implementing these factors. In addition, the opinions of the specialists were evaluated and categorized them by descending hierarchical classification and confirmatory factorial analysis, offering a practical model of implementation.

Keywords: Industry 4.0, Theory of the Consolidated Meta-Analytic Approach, Interview and IRaMuTeQ.

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços tecnológicos e da integração em rede das informações, muitas organizações ainda encontram dificuldades em avançar em seu modelo de negócio, baseado no uso da tecnologia e informação apenas como apoio. Laurindo et al., (2001) verificou que a aplicação da Tecnologia da Informação (TI) vem evoluindo dentro das organizações, saindo do básico suporte administrativo para assumir um papel estratégico. Essa nova função estratégica da TI vem se disseminando nas empresas de forma mais consolidada, começando desde o apoio a tomada de decisões em um nível mais estratégico e avançando na integração de processos e máquinas em toda organização.

Monteiro e Bezerra (2003) verificaram que as empresas que optaram pela aplicação de Sistemas de Informação (SI) em suas cadeias de suprimento tiveram uma maior integração em toda sua rede, desde o alinhamento e execução da estratégia até a automação integrada dos processos produtivos, culminando com isso, em uma maior vantagem competitiva frente a concorrência.

No momento atual, a implementação das tecnologias de informação no *Supply Chain* vem evoluindo de tal maneira que está convergindo para uma nova revolução industrial, conhecida como indústria 4.0. Segundo Vogel-Heuser e Hess (2016), a Indústria 4.0 é derivada do termo alemão: *Industrie 4.0*, e surgiu em 2011 na Feira de Hannover como sinônimo de Sistemas de Produção Ciberfísica (CPPS).

Um fator que vem sendo destaque nessa nova revolução industrial são os modelos tecnológicos de produção inovadora, conhecidos como *smart factories*, que se conectam e se associam por meio de sistemas virtuais e físicos que são articulados à redes e plataformas digitais com amplitude global, resultando assim em cadeias de alto valor, revolucionárias e inovadoras.

A indústria 4.0 está pautada basicamente em 9 pilares centrais: *Cyber-Physical Systems (CPS)*, *Internet of Things (IOT)*, *Additive Manufacturing*, *Digital Manufacture (Simulation)*, *Smart Factory*, *Big Data e Analytics*, *Cloud Computing*, *Digital Security e Advanced Robotics* (Sistemas Ciberfísico, Internet das Coisas, Manufatura Aditiva, Manufatura Digital ou Simulação, Fabricas Inteligentes, Análise de Grandes quantidades de Dados, Computação em Nuvem, Segurança Digital e Robótica Avançada). Atualmente, as organizações convivem em um cenário de conexão imediata de ambiente, máquina e ser humano, intercambiando informações em tempo real com todos os *stakeholders* envolvidos, gerando grande quantidade de dados, que são processados em nuvem e que garantem a segurança e confiabilidade das informações processadas. Mas, embora seja crescente o uso do termo Indústria 4.0 (DELOITTE, 2015; HERMANN, 2016; DRATH e HORCH, 2014), Lasi, et al (2014), alerta que seu uso inclui uma série de mudanças na

cultura e estrutura organizacional, principalmente da TI nos sistemas de produção. Essas mudanças não têm apenas implicações organizacionais técnicas, mas também múltiplas, inclusive no que tange ao campo da gestão do conhecimento em toda a organização.

Assim, entender a Indústria 4.0 é assimilar os elementos que a compõem, de sobremodo, alcançar os pilares mais elementares, que antecedem estes elementos, garantindo o sucesso das organizações neste novo paradigma industrial. Embora, a era 4.0 possa parecer distante para algumas organizações, existem impactos no processo de transição, afetando indústrias em etapas anteriores. Assim, torna-se importante conhecer mais a respeito desse novo tópico, assim como possíveis os impactos. Deste modo surge o problema:

- Quais as implicações da Indústria 4.0 para o contexto da Produção?

Dado o alto nível de complexidade do atual cenário de uma nova revolução industrial, em que todas as coisas estão conectadas ao mesmo tempo, as organizações estão buscando cada vez mais por metodologias, tecnologias e ferramentas capazes de manter a integridade da informação e seu acesso imediato. No mundo inteiro, um dos temas mais comentados do momento é a indústria 4.0, conhecida também como: *Internet of things* – IOT (Internet das Coisas), Quarta Revolução Industrial, Manufatura Avançada e ou Segunda Era das Máquinas. Esse novo conceito vem impactando fortemente as economias do globo, e não somente em termos financeiros, mas também na forma como se interage com o mundo. Segundo Schwab (2016), inicia-se uma revolução que alterará profundamente a maneira como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos.

Schwab (2016), adicionalmente, afirma que o conhecimento compartilhado passa a ser especialmente decisivo para se moldar um futuro coletivo que reflita valores e objetivos comuns. Dessa maneira, visto a importância do assunto, esse trabalho se faz de extrema relevância ao tratar o tema dentro de uma perspectiva de gestão do conhecimento e de competências no âmbito do *Supply Chain* nessa nova transição para quarta revolução industrial.

Para área de Engenharia de Produção é importante para compreender de forma mais abrangente a velocidade e amplitude dessa nova revolução já que ela afeta todos os *stakeholders* da sociedade global – governos, empresas, universidades e sociedade civil – onde estes devem trabalhar juntos para melhor entender as tendências emergentes. Uma vez delimitado o problema da pesquisa e justificada a importância do tema, este estudo tem como objetivo realizar uma taxonomia a respeito do tema indústria 4.0, apresentando as principais contribuições, obstáculos e perspectiva a respeito do tema. Para alcançar este objetivo, este estudo foi dividido em duas partes. Na primeira etapa foi realizada uma revisão sistemática via Teoria do Enfoque Metaanalítico Consolidado, apresentando as principais contribuições científicas e fatores chaves de sucesso. Na segunda parte, foi realizada uma entrevista, com seis pesquisadores especialistas na área de indústria 4.0, para discutir os resultados da literatura científica.

Pode-se observar a presença dos elementos importantes da Indústria 4.0, como Internet das Coisas, *Big Data*, *Analytics*, Conhecimento, Performance, entre outras e que as palavras *design* e *systems* são as palavras mais influentes, explicando a necessidade do desenho para integrar de maneira sistemática todos os elementos que consolidam a Indústria 4.0.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.3.1 Evolução da Indústria

Nos primórdios de nossa civilização, a produção era predominantemente artesã, de maneira que o operário detinha um conhecimento altamente especializado e domínio de todas as ferramentas necessárias para execução de suas atividades, onde todo *know-how* era passado de geração a geração. Mas dado ao desenvolvimento natural de nossa sociedade, que desencadeou no aumento expressivo da demanda por produtos e o surgimento de novos concorrentes, forçou os artesões a compartilharem suas oficinas, insumos, conhecimento e competências com o intuito de aumentar sua capacidade de produção e manter sua participação de mercado. Além disso:

O produtor artesanal lança mão de trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples, mas flexíveis, para produzir exatamente o que o consumidor deseja: um item de cada vez. Móveis sob encomenda, trabalhos de arte decorativa e alguns poucos e exóticos carros esportivos constituem exemplos atuais. Todos nós adoramos a ideia da produção artesanal, mas seu problema é óbvio: bens produzidos pelo método artesanal [...] custam caro demais para a maioria de nós. (WOMACK, 2004, p. 7)

Schwab (2016) define a palavra “revolução” como mudança abrupta e radical. As revoluções têm ocorrido quando novas tecnologias e novas formas de compreender o ambiente ao nosso redor provocam uma transformação intensa nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos.

A primeira revolução industrial se constituiu em um conjunto de mudança que ocorreram nos séculos XVIII e XIX, com o início da utilização do carvão como força motriz, substituindo as produções artesanais pelos processos produtivos mecanizados. De acordo com Schwab (2016) um dos principais fatores para o surgimento da primeira revolução industrial se deu pela construção das ferrovias e pela invenção da máquina a vapor.

A segunda revolução industrial surgiu entre o final do século XIX e início do século XX, advindo da eletricidade e da linha de montagem, que convergiram para o método de produção em massa, que segundo Womack:

O produtor em massa utiliza profissionais excessivamente especializados para projetar produtos manufaturados por trabalhadores semi ou não-qualificados, utilizando

máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa. Essas "cospem" produtos padronizados em altíssimos volumes. Por ser a maquinaria tão cara e pouco versátil, o produtor em massa adiciona várias folgas - suprimentos adicionais, trabalhadores extras e espaço extra - para assegurar a continuidade da produção. Por ser a mudança para um novo produto tão dispendiosa, o produtor em massa mantém os modelos padrão em produção o maior tempo possível. O resultado: o consumidor obtém preços mais baixos, mas à custa da variedade, e com métodos de trabalho que muitos trabalhadores julgam monótonos e sem sentido. (WOMACK, 2004, p. 8)

Já terceira revolução começou em meados da década de 60, e é conhecida como a revolução digital ou da informação, pois foi impulsionada, segundo Schwab (2016), pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação em *mainframe* - em 1960, da computação pessoal - em 1970/1980 e do uso intensificado da internet no início da década de 90. Outro fator de destaque, de acordo Womack (2004), foi a utilização do sistema Toyota de produção na manufatura, que ficou conhecido como produção enxuta, manufatura enxuta ou *lean manufacture*.

Mas o desenvolvimento acelerado das tecnologias digitais, como: a internet que está mais ubíqua e móvel, os sensores que estão menores, mais potentes e baratos e o surgimento da inteligência artificial e aprendizagem de máquinas, estão causando rupturas à terceira revolução industrial, que de acordo com Brynjolfsson e McAfee (2014), estas tecnologias estão se tornando mais sofisticadas e integradas e, consequentemente, transformando a sociedade e a economia global. Eles afirmam ainda que o mundo está em um ponto de inflexão em que o efeito dessas tecnologias irá se manifestar com “força total” por meio da automação e de “coisas sem precedentes”. Evidenciando o surgimento de uma nova revolução industrial.

Schwab (2016), afirma que a quarta revolução industrial transforma basicamente os três pilares - físico, digital e biológico - tendo impacto na economia, negócios, sociedade, indivíduo e governo. E diferentemente das revoluções industriais que ocorreram ao longo da história e que foram diagnosticadas anos após seu acontecimento, a quarta revolução industrial é a primeira em que seus conceitos, impactos e resultados são mensurados ao mesmo tempo em que ela ocorre, sendo prevista como tendência para um modelo de produção industrial (HERMANN, 2016).

E da mesma maneira que a mecanização, eletrificação e informatização marcaram as três últimas revoluções industriais, respectivamente, a digitalização, é a palavra chave que define a quarta revolução industrial. Maslarić, Nikolić e Mirčetić (2016) evidenciaram a digitalização como a palavra do século, onde ela está presente em todos os segmentos da sociedade atual, desde a produção até as relações sociais. Azevedo (2017) afirma que a transformação digital é parte de um grande processo tecnológico e está intrinsecamente ligado à aplicação da tecnologia digital em todos os aspectos sociais.

Mas, ao se tratar de transformação digital é importante destacar, que segundo Khan (2016), não existe até então uma definição clara e amplamente aceita na literatura, resultando em uma grande confusão entre os conceitos digital, digitalização e transformação digital. O termo digital

está ligado ao processo de conversão de informação analógica para o formato digital, em que o exemplo disto seria converter uma foto em papel para o meio digital. A digitalização está vinculada ao empenho de tecnologias específicas para a transformação dos processos físicos em virtuais. Então, ainda segundo Khan (2016), a transformação digital seria o resultado da digitalização, em que não só consistiria em inovações tecnológicas, mas também em novas formas de tornar os negócios mais eficientes e competitivos.

Logo, a aderência da digitalização à indústria resultou na manufatura avançada, e como consequência do maquinário interconectado em rede e junção do mundo físico e virtual, que é caracterizada pela integração e pelo controle dos processos de produção em toda a cadeia logística. A Figura 1 apresenta um panorama geral das revoluções industriais ocorridas até o momento.

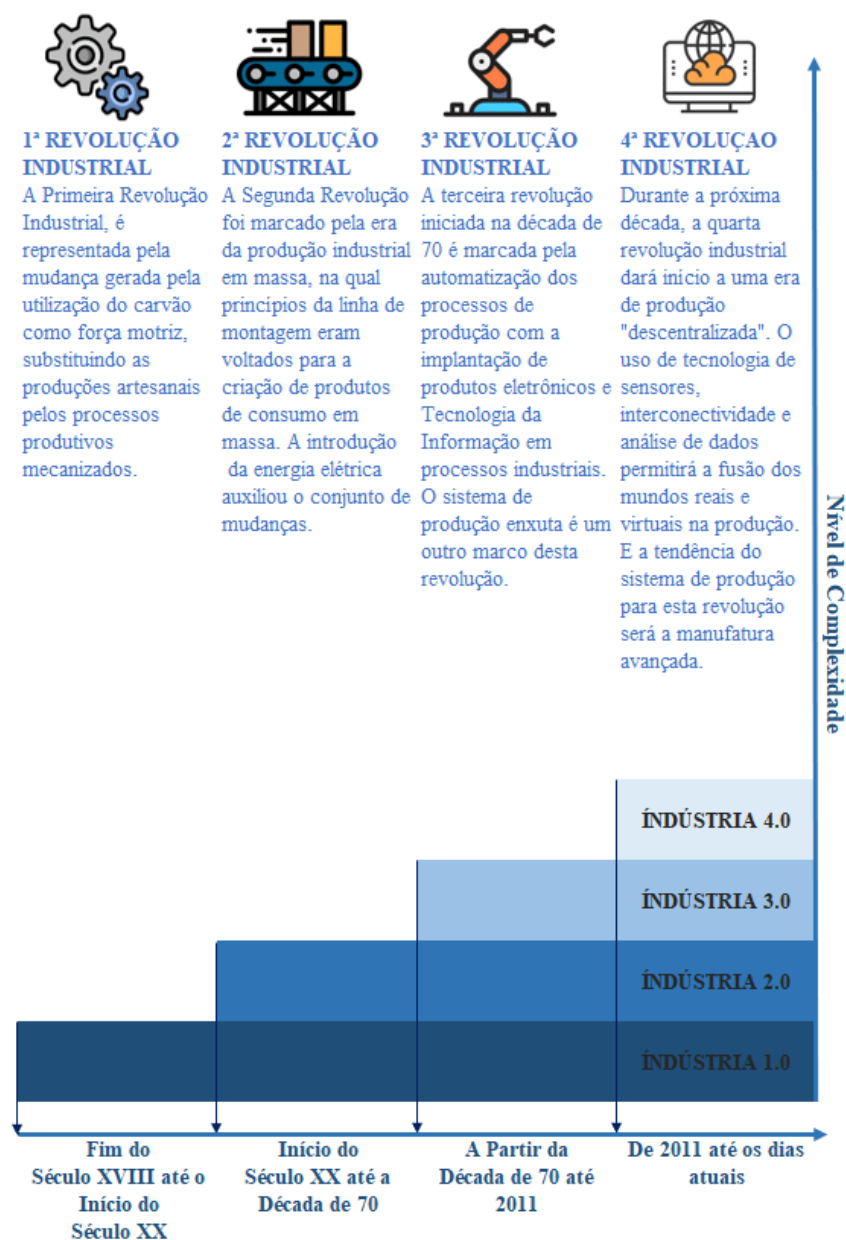


Figura 1 - Linha do tempo das revoluções industriais
Fonte: Autoria própria.

Vale salientar que a indústria 4.0 é uma expressão que surgiu em 2011 na Feira de Hannover, na Alemanha, que se propagou rapidamente por toda Europa, e que vem tendo grande notoriedade e aceite por todo o mundo como sendo a quarta revolução industrial. De acordo com Kagermann *et. al* (2013) seus fundamentos estão intrinsicamente ligados aos sistemas *cyber-físicos*. Além disso, segundo os trabalhos dos autores Kang (2016), Shrouf (2014) e Zawadzki e Zywicki (2016) a indústria 4.0 vem sendo atrelado também aos conceitos de *smart factory*, *Internet of Things*, *Additive Manufacturing* e *Rapid Prototyping/Hybrid Prototyping*. Diante disso, observa-se que:

A quarta revolução industrial foi descoberta pelo governo alemão, que introduziu o termo Indústria 4.0. Ela descreve o processo de fabricação computadorizada, onde a tecnologia está se fundindo com o mundo físico e digital. As máquinas e produtos serão interligadas e capazes de se comunicar sem interferência humana. Prevê-se que até 2020, 50 bilhões de dispositivos estarão conectados à Internet, o que mostra a importância e o progresso da quarta revolução. (HEBER, 2014, p. 19).

De acordo com Monostori *et.al* (2016), essencialmente, a indústria 4.0, é fundamentada pelo uso e integração sinérgica das tecnologias de informação, comunicação e automação industrial. Diferente da terceira revolução industrial, essa nova revolução não se estrutura na conexão unilateral, mas busca criar uma rede integrada e dinâmica de máquinas, propriedades, ativos e sistemas de informações em toda a cadeia de valor e em todo ciclo de vida do produto. Mas, e ainda de acordo Monostori *et.al* (2016), o sucesso dessa conexão sistêmica e integrativa só se dará se houver a implementação efetiva de sistemas *cyber-físicos* por toda a indústria. Lee *et. al* (2014) afirma que as inovações de fabricação e os serviços baseados em sistemas *cyber-físicos* são duas tendências, com inevitáveis desafios, para as organizações alcançarem o sucesso no atual ambiente competitivo.

Nos sistemas *cyber-físicos*, a utilização de sensores e sistemas de controle proporcionam a interconexão entre as máquinas, plantas, redes, transportadores e seres humanos de forma dinâmica e em tempo real, e o maquinário não apenas processa a matéria-prima e a transforma em produtos, mas também tem a capacidade de se comunicar com todo o ecossistema que está envolvido, analisando dados, tomando decisões e se adaptando rapidamente as alterações de demanda em tempo real. Dentro das fábricas do futuro, também consideradas fábricas inteligentes, a *Cyber-Physical-Systems* (CPS) irá permitir a comunicação entre os seres humanos, máquinas e produtos parecidos. (EINSIEDLER, 2013).

Nessa perspectiva, Silveira (2016) aponta que a quarta revolução industrial projetada pelo governo alemão perfaz um processo de fabricação computadorizado, onde os mundos físicos e digitais estão se mesclando, e com isso, possibilitando que as máquinas sejam capazes de se comunicar sem o intermédio humano. E de acordo com Maslarić, Nikolić e Mirčetić (2016) a

concepção da indústria 4.0 está vinculada ao aumento da informatização nos meios de produção, de forma que as estruturas físicas estão gradativamente se fundindo com as redes de informação digital, proporcionando a integração de muitos sistemas em todos os níveis de produção, sendo possível encontrar soluções com a menor quantidade de operações nas atividades.

Mas a integração de muitos sistemas em todos os níveis de produção vem gerando uma quantidade imensa de dados, metadados e informações, que de acordo com Lee *et. al* (2014), as organizações estão tendo dificuldade em lidar com essa grande quantidade de dados para a tomada rápida de decisão. O novo modelo incorporado pela fábrica do futuro produz uma quantidade grande de informações para o operador, e com as ferramentas tradicionais disponíveis, o gerenciamento das informações torna-se um trabalho pouco efetivo para tomada de decisão. (FIASCHETTI; PIETRABISSA; PRISCOLI, 2015).

Nessa linha, Lee *et. al* (2014) enfatizam que muitos dos sistemas de manufatura não estão aptos a gerenciar “grandes dados”, do inglês *Big Data*, devido à falta de implementação de ferramentas analíticas inteligentes, e que o caminho para resolver essa lacuna seria o de adicionar aos sistemas *cyber*-físicos softwares e algoritmos de inteligência artificial, tornando todo o ambiente industrial mais inteligente e autônomo, com máquinas com alto grau de consciência e autodidatas.

O principal objetivo da indústria 4.0, de acordo com Blanchet (2014), é a proposta de um meio de produção inteligente e dinâmico, gerado pela capacidade das máquinas em utilizar uma rede de dados, como a internet, e de transformar esses dados em informação para tomada de decisões em tempo real, sem que haja a intervenção do homem.

A capacidade de autogerenciamento que a Indústria 4.0 vai introduzir no mercado, tem como maior diferencial a possibilidade de se antecipar aos eventos que estão por vir, desde manutenções necessárias até variações na demanda, sendo assim capaz de operar de maneira ininterrupta (FISCHER, 2016). Nessa mesma perspectiva o CNI (2016) aponta que:

Um dos maiores impactos da implantação da digitalização é o aumento da eficiência ou da produtividade nos processos de produção. A capacidade de monitorar toda a cadeia de processo possibilita que a empresa consiga alocar de maneira eficiente suas máquinas conforme surjam necessidades, identificar problemas e gargalos rapidamente, otimizar processos, diminuir o índice de defeitos na produção e até mesmo ser capaz de evitar problemas antes de construir uma planta ou produzir protótipos de produtos, além de conseguir utilizar de maneira mais eficiente o consumo de insumo, reduzindo dessa forma os custos de produção.

Ainda de acordo com Blanchet *et. al* (2014), essa nova perspectiva de indústria 4.0 se fundamenta na produção inteligente e flexível, que através da conectividade da internet é estruturada em uma rede de máquinas “inteligentes” e sistemas de manufatura avançado, que vai desde a implementação de tecnologias inovadoras, como robôs industriais controlados em tempo

real, até o incremento de *big data* e de algoritmos de inteligência artificial para a análise preditivas, resultando em uma maior conectividade entre os seres humanos, as máquinas e os sistemas digitais, e até o incremento da eficiência energética.

2.1 Fatores-chave de sucesso da Indústria 4.0

Segundo Schwab (2016), vive-se no limiar de uma quarta revolução industrial, a chamada revolução industrial baseada no conceito de sistemas Cyber-Physical Systems (CPS – ciberfísicos). Além dos sistemas cyber-físicos, surgem novas tecnologias, as tecnologias habilitadoras atuais, que através do seu uso promovem o rompimento do atual paradigma, destacando-se: Internet das Coisas (IoT), big data analytics e computação em nuvem que visa atender aos requerimentos de um sistema de manufatura avançada, promovendo a integração de toda uma cadeia de suprimentos. Essa nova revolução é caracterizada pelo “uso intensivo de tecnologias digitais com o intuito de fabricar novos produtos de forma rápida, com uma ágil resposta à demanda e otimização em tempo real da produção e da cadeia de suprimentos” (AZEVEDO, 2017, p. 20).

Com isso, para Maslarić, Nikoličić e Mirčetić (2016) os principais termos que a indústria 4.0 utiliza são: Sistemas Ciber-físicos (CPS), Internet Industrial, Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS) e Fabricas Inteligentes. Já os estudos de Azevedo (2017) apontam a IoT, *Machine to Machine* (M2M), *Cyber Physical Systems* (CPS), Protocolo Ipv6, *Big Data e Analytics*, *Cloud Computing* e *Fog Computing*, RFID E *QR Code*, Comunicação 5g e *Machine Learning* como os pilares da manufatura avançada.

Mas para Hermann, Pentek e Otto (2016) a indústria 4.0 se estrutura em quatro componentes fundamentais, que são: *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IOT), *Internet of Services* (IOS) e *Smart Factory*. De forma que, estes autores consideram a comunicação máquina para máquina (M2M) e os Produtos Inteligentes como subprodutos da indústria 4.0. Onde o M2M seria um facilitador da IOT e os Produtos Inteligentes seriam subcomponentes dos sistemas *Cyber-Physical*. Da mesma maneira, eles desconsideram o papel do *Big Data e Analytics* e da computação em nuvem, por acreditarem que seriam serviços de dados que utilizariam os dados gerados pelas indústrias 4.0, e com isso estariam mais para componentes independentes do que para componentes fundamentais da indústria 4.0.

Por outro lado, Lee *et. al* (2014) parte do princípio de que na Indústria 4.0 as máquinas estão conectadas como uma comunidade colaborativa, gerando grande quantidade de dados, sendo assim, requer a utilização de ferramentas de previsão avançada, como inteligência artificial e aprendizagem de máquinas. Mas para que isso ocorra é de fundamental importância o uso de

ferramentas para gerenciar *big data*, de forma a alcançar a transparência e a produtividade por toda indústria. Reforçando este ponto, os trabalhos de Fiaschetti, Pietrabissa e Priscoli (2015) e de Wang *et. al* (2015) também tratam da relevância do uso das novas Tecnologias da Informação e da Ciência dos Dados, destacando a questões de segurança digital, como chave para o sucesso na nova perspectiva da indústria 4.0.

Além disso, de acordo com Rowe (2006), a visualização em três dimensões (3D), a realidade virtual e as ferramentas colaborativas do PLM (Product Lifecycle Management) começam a trazer benefícios aos processos de manufatura. E do mesmo modo que suas equivalentes no projeto do produto, as ferramentas de visualização da produção estão acelerando os ciclos de obtenção do produto, reduzindo custos de produção e aumentando a eficiência das plantas produtivas. Essas ferramentas orientadas ao processo são usadas para simular desde layouts de chão-de-fábrica até operações em máquina e interações do homem com as máquinas. (DE CARLI e DELAMARO, 2007)

Assim, consolidando as contribuições, se destacam 9 fatores-chave para o sucesso da Indústria 4.0: *Cyber-Physical Systems (CPS)*, *Internet of Things (IOT)*, *Additive Manufacturing*, *Digital Manufacture (Simulation)*, *Smart Factory*, *Big Data e Analytics*, *Cloud Computing*, *Digital Security e Advanced Robotics*.

2.1.1 Sistemas Ciber-Físicos (CPS)

Um componente indispensável da indústria 4.0 é a fusão do mundo físico com o virtual (KAGERMANN, 2014, p.603, apud HERMANN *et. al*, 2016, p. 8). Essa fusão só será possível dado à implementação dos sistemas *Cyber-físicos*. Lee *et. al* (2014) define o CPS como sendo a integração da computação com os processos físicos, em que as redes de computadores incorporados gerenciam e controlam os processos físicos, com o apoio de “loops de feedback”, em que os processos físicos interagem com os processos digitais e vice-versa. De acordo com Lee (2008), conforme citado por Azevedo (2017), o CPS é um ambiente de sistemas integrados com sensores inteligentes que podem se auto ajustar ou conFigurar automaticamente os processos de produção de forma descentralizada e em conformidade com os dados coletados e analisados em tempo real, gerando a integração do mundo virtual com o físico.

2.1.2 Internet das Coisas (IoT)

Através da recomendação ITU-T Y.2060, em 2012, o termo *Internet of Things* foi definido como uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo que serviços avançados fossem fornecidos através da interligação de coisas (físicas e virtuais) com base na já

existente tecnologia de informação e comunicação, bem como em sua evolução. Segundo Smit, Kreutzer e *et. al* (2016) a Internet das Coisas refere-se à implantação de sistemas de tecnologia da informação (TI) que objetivam conectar todos os subsistemas, processos e objetos - internos e externos, redes de fornecedores e de clientes, de forma a gerar comunicação e cooperação dinâmica e em tempo real entre todos as “coisas” envolvidas, se mostrando muito presente o campo da logística do conhecimento aqui. Nessa perspectiva, Giusto, Lera, Morabito *et. al* (2010, p.5, apud HERMANN *et. al*, 2016, p. 9) a IoT permite que "coisas" e "Objetos", tais como RFID, sensores, celulares, por meio de esquemas de endereçamento, interajam entre si e cooperam com seus componentes vizinhos "inteligentes", para alcançar objetivos comuns.

2.1.3 Big Data e Analytics

Nist (2015) define o termo *big data* como um enorme conjunto de dados, em que a grande massa de dados não é estruturada, mas necessita de análise em tempo real. Para Azevedo (2017) o termo *big data* trata da incapacidade das tradicionais arquiteturas de dados em manipular, armazenar, e analisar os dados, onde é utilizado uma arquitetura escalável para realizar essas atividades de forma efetiva. As características do *big data* implicam em uma nova arquitetura conhecida como os 5s do *Big Data*, que são: Volume - tamanho do conjunto de dados, Variedade - dados gerados por uma variedade de fontes; Velocidade - taxa do fluxo de dados, Variabilidade - coerência no conjunto de dados e, por fim, Valor - agregação de valor.

O termo *analytics* é a descoberta, interpretação e comunicação dos padrões significativos nos dados, tendo valor significativo nas mais diversas áreas do conhecimento, pois pode-se aplicar à análise de dados no negócio a fim de se prever, melhorar o desempenho, gerenciar as decisões, análise de risco, aprimoramento de recursos, dentre outros (KOHAVI; ROTHLENDER; SIMOUDIS, 2002). Nessa mesma linha, Chiaburu (2015), afirma que no horizonte da indústria, a implementação do *analytics* e de modelos matemáticos podem cominar no planejamento efetivo e integrado aos sistemas *cyber-físicos*.

2.1.4 Computação em Nuvem

Cloud computing pode ser definido como um paradigma de computação distribuída que é impulsionado pelas economias de escala, na qual um conjunto gerenciável de poder computacional, de armazenamento e plataformas consideradas abstratas, virtualizadas e dinamicamente escaláveis são entregues sob demanda para clientes externos através da Internet (FOSTER et al., 2008, apud CAMARGO JUNIOR, PIRES e SOUZA, 2010). Já a definição de computação em nuvem dada pelo Nist (2011, apud AZEVEDO, 2017), é a de um modelo que

permite o acesso ubíquo, conveniente e sob demanda aos recursos compartilhados e configuráveis, que podem ser rapidamente provisionados e liberados com mínimo esforço de gerenciamento. É composto por cinco características essenciais - Sob demanda e Autosserviço, Acesso Amplo à Rede, Conjunto de Recursos, Rápida Elasticidade e Serviço de Medição; Três modelos de serviço - Software como Serviço (SaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Infraestrutura como Serviço (IaaS); Quatro modelos de implementação - Nuvem Privada, Nuvem Comunitária, Nuvem Pública e Nuvem Híbrida.

2.1.5 Segurança Digital

A segurança digital está vinculada a proteção dos sistemas, transações e locais de armazenagem dos dados e informações, objetivando preservar a integridade dos indivíduos e das organizações, públicas ou privadas, impedido o extravio e ou adulteração durante a comunicação dos agentes, seja pessoas ou máquinas, atrelados no sistema. Segundo o modelo de McCumber (1991), a segurança depende de múltiplos fatores para acompanhar com efetividade essa diversidade e dinâmica dos dados e informações, que estão sendo produzidos e armazenados em uma variedade de locais e em tempo real. Esses fatores de segurança seriam divididos em três panoramas, que são eles: a Propriedade da Segurança da Informação, que é constituído pela Confidencialidade, Integridade e Disponibilidade do dado; a Medida de Segurança, que está pautada em Tecnologias, Conscientização e Políticas e Procedimentos; e os Estados da Informação, que seriam a Transmissão, o Armazenamento e o Processamento dos dados.

2.1.6 Robótica Avançada

A robótica é considerada uma forma de automação industrial que utiliza tecnologia de robôs na produção e controle do chão-de-fábrica (REDEL e HOUNSELL, 2004). Onde a robótica é uma ciência da engenharia aplicada que é tida como uma combinação da tecnologia de máquinas operatrizes e ciência da computação (GROOVER, 1989, apud REDEL e HOUNSELL, 2004). Assim, o principal instrumento utilizado na robótica é o robô, só que dentro da perspectiva de indústria 4.0 ele agora é mais autônomo e inteligente, dado a junção do robô e da inteligência artificial. Este conceito apresenta algumas vantagens quando comparado com os sistemas tradicionais de automação como modularidade, eficiência e, principalmente, flexibilidade (SANTOS e BARBOSA, 2015). E com isso, pode-se dizer que os benefícios potenciais da robótica são o aumento na quantidade e na qualidade dos produtos, além da melhoria na gestão dos recursos, mediante o uso eficiente dos insumos em toda cadeia produtiva.

2.1.7 Manufatura Aditiva

Em geral, “todas as tecnologias de manufatura aditiva têm como princípio básico de funcionamento, a geração de objetos tridimensionais (3D) através de processos de adição de material camada por camada” (CUNICO, 2015, p.2). Cunico (2015) ainda enfatiza que a manufatura aditiva está estruturada basicamente em cinco etapas, que são elas: modelagem computacional, geração de modelo de malha STL (STereoLithography), geração de objeto camada-por-camada e pós-processamento e acabamento.

Segundo os autores, Zawadzki e Żywicki (2016), Schmick, Lüders e Wollnack (2016) e Durão et al. (2017), na indústria 4.0 os métodos de prototipagem rápida, como as impressoras 3D, não serão usadas apenas para criação de protótipos e ou produção de componentes individuais, mas serão empenhados na produção de pequenos lotes de produtos personalizados (customização em massa), alavancando as vantagens competitivas e o aumento no nível de serviço frente ao cliente, visto que possibilitará a construção de peças e componentes com arquiteturas complexas com matérias mais leves, resistentes e com baixo desperdícios de fabricação. Além gerar sistemas de fabricação aditiva descentralizadas e mais próximos dos clientes, impactando na diminuição dos custos de movimentação e transporte e redução dos níveis de estoque.

2.1.8 Simulação ou Manufatura Digital

Segundo De Prado (2004) a simulação é uma técnica que, usando um computador, procura montar um modelo que melhor representa o sistema em estudo, de forma a permitir a imitação do funcionamento de um sistema real, onde os poderosos softwares conseguem construir modelos nos quais é possível visualizar na tela o funcionamento do sistema em estudo, tal como em um filme. O modelamento computacional de uma linha de produção através da simulação a eventos discretos contribui significativamente para o projeto do processo de manufatura por permitir aos engenheiros um maior entendimento das particularidades do sistema (SANTOS e BARBOSA, 2015). “Dessa forma, antes de se efetuar alterações em uma fábrica real, pode-se interagir por meio de uma fábrica virtual” (DO PRADO, 2004, p.20).

De acordo com Rowe (2006), a Manufatura Digital estabelece a conexão entre o projeto do produto, o planejamento da produção, os recursos produtivos e a programação das atividades produtivas. Os produtos, processos e recursos são modelados a partir de dados reais, em uma fábrica virtual. Com base nesses modelos, os processos de desenvolvimento do produto e de planejamento das atividades de produção são aprimorados até que sejam totalmente desenvolvidos, extensivamente testados e livres de erros para, então, serem utilizados na fábrica real (DE CARLI e DELAMARO, 2010).

2.1.9 Fábricas Inteligentes

Conforme Kagermann *et. al* (2013), citado por Hermann, Pentek e Otto (2016), as fábricas inteligentes constituem uma característica fundamental da indústria 4.0. O *Smart Factory* é definido como uma fábrica que auxilia o contexto integrativo das pessoas e máquinas na execução de suas tarefas. Baseado nas definições dadas anteriormente para o CPS, a IoT e a manufatura aditiva, a *Smart Factory* pode ser definida como um fábrica onde o CPS se comunica através da IoT, colaborando com isso na execução efetiva das atividades das pessoas e máquinas, além da integração de tecnologias de manufatura aditiva e técnicas de realidade virtual, que de acordo com Zawadzki e Żywicki (2016) são a base da chamada prototipagem híbrida.

Uma vez explicado os 9 fatores-chave da indústria 4.0 e os elementos que envolvem sua construção, pode-se compreender a dificuldade de conceitualização, não existindo ainda na literatura um conceito amplamente utilizado. Refletindo sobre este capítulo pode-se compreender que o desafio de conceituar está justamente no dinamismo do termo Indústria 4.0, que se diferencia dos conceitos anteriores. Deste modo para sugerir um conceito de Indústria 4.0, deve-se compreender anteriormente, que não se trata de um conceito único e sim de um processo, um *continuum* de industrialização 4.0, que provavelmente não terá um fim, pois se trata de um processo cíclico de renovação.

Deste modo, Indústria 4.0 pode-se definir como um processo de integração das realidades física e virtual, envolvendo homem e máquina com a finalidade de agregar valor por meio de acesso seguro a grande volume e tipo de dados, gerados em tempo real. É a materialização da empresa viva, integrando dicotomias, homem e máquina, real e virtual, hoje e amanhã, disponibilidade da informação e segurança. É a impressão tridimensional (3D), do futuro (Dados, Decisões e Desempenho).

Para complementar esta análise da literatura, foi realizada uma entrevista com 6 pesquisadores/especialistas sobre Indústria 4.0, com a finalidade de conhecer as opiniões a respeito do tema e desta análise prévia da literatura.

Com as contribuições da revisão sistemática da literatura pela metodologia TEMAC, foi possível criar um quadro integrador (quadro 1) sobre os elementos da indústria 4.0, explicando o papel de cada elemento, assim como os obstáculos para sua implementação.

Quadro 1 - Fatores que influenciam no sucesso da Indústria 4.0

Fator	Autores	Breve descrição	Componentes fundamentais	Obstáculos
Cyber-Physical Systems (CPS)	Kagermann (2014); Lee et al. (2014); Hermann, Pentek e Otto (2016); Maslarić, Nikolić e Mirčetić (2016); Wan et al. (2011); Sztipanovits et al. (2011).	O CPS é um ambiente de sistemas integrados com sensores inteligentes que podem se auto ajustar ou configurar automaticamente os processos de produção de forma descentralizada e em conformidade com os dados coletados e analisados em tempo real, gerando a integração do mundo virtual com o físico.	CPS requerem tecnologias de computação e rede para envolver não apenas a informação, mas também as dinâmicas físicas (WAN et al., 2011), logo, redes heterogêneas de sensores, atuadores e dispositivos computacionais são fundamentais, e também a simulação computadorizada e a robótica intersectam esse fator.	As interações entre controle, computação, redes e sistemas requer novos designs tecnológicos (WAN et al., 2011), pois a integração dos CPS emerge da heterogeneidade de seus componentes e interações (SZTIPANOVITS et al., 2011), o que pode acarretar grandes custo de mudança e infraestrutura.
Internet of Things (IOT)	Kagermann (2014); Lee et al. (2014); Hermann, Pentek e Otto (2016); Maslarić, Nikolić e Mirčetić (2016); Kranenburg et al. (2011); Singer (2012).	É a implantação de sistemas de tecnologia da informação (TI) que objetivam conectar todos os subsistemas, processos e objetos - internos e externos, redes de fornecedores e de clientes, de forma a gerar comunicação e cooperação dinâmica e em tempo real entre todos as “coisas” envolvidas.	A ideia de que eventualmente tudo, incluindo artefatos físicos mundanos, estará conectado (KRANENBURG et al, 2011, p. 2) perfaz a necessidade de inteligência espacial, coleta de dados, sensores de baixo consumo de energia, <i>middleware</i> , segurança de rede, criptografia, design centrado no usuário, arquitetura de informação e ainda questões relacionadas à legalidade, transparência e direito sobre os dados colhidos (SINGER, 2012) como componentes de sucesso para IoT.	Questões de padronização de protocolos de comunicação, aprimoramento da segurança de redes, expansão dos endereços IP, aspectos de privacidade e energia do sensor (visto que os sensores deverão ser autossustentáveis) foram os obstáculos mais apontados pelos autores para IoT.

Fator	Autores	Breve descrição	Componentes fundamentais	Obstáculos
Big Data e Analytics	Rajkumar, Lee et al., (2010); Wan et. al (2017); Stark et. al (2014); Huxtable e Schaefer (2016); Roy et. al (2016); Sackey e Bester (2016).	O Big data é um enorme conjunto de dados, em que a grande massa de dados não é estruturada, mas necessita de análise em tempo real. E a Analytics seria os métodos empregados para a descoberta, interpretação e comunicação dos padrões significativos nos dados.	A criação de conhecimento a partir da grande quantidade de dados brutos, coletados em tempo real, é essencial para o sucesso dos CPS (Rajkumar; Lee et al., 2010), mas para isso necessita-se de desenvolver uma abordagem de big data alinhada com os objetivos estratégicos da organização, possuir infraestrutura de TI adequada, possuir novos modelos e ferramentas capazes de processar grandes volumes de dados (<i>analytics</i>), cultura organizacional orientada para a gestão dos dados e análise de dados automatizada ou semi-automatizada (JÚNIOR,2015).	Este trabalho aponta, por meio do levantamento do arcabouço teórico realizado, que a segurança, integridade dos dados e capacidade atual do processamento dos computadores são um dos obstáculos mais pragmáticos da gestão do <i>Big Data</i> e de sua análise.
Cloud Computing	Wan, Tang, Li, Wang et al. (2017); Jager, Schollhammer, Lickefett e Bauernhansl (2016).	É um modelo que permite o acesso ubíquo, conveniente e sob demanda aos recursos compartilhados e configuráveis, que podem ser rapidamente provisionados e liberados com mínimo esforço de gerenciamento.	Segundo a literatura levantada, a computação em nuvem é composta por cinco características essenciais - Sob demanda e Autosserviço, Acesso Amplo à Rede, Conjunto de Recursos, Rápida Elasticidade e Serviço de Medição; Três modelos de serviço - Software como Serviço (SaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Infraestrutura como Serviço (IaaS); e Quatro modelos de implementação - Nuvem Privada, Nuvem Comunitária, Nuvem Pública e Nuvem Híbrida.	Armbrust et al (2009) apontam que a disponibilidade do serviço, confidencialidade, auditabilidade, a segurança e o congestionamento na transferência dos dados são alguns dos principais obstáculos presentes da computação em nuvem.

Fator	Autores	Breve descrição	Componentes fundamentais	Obstáculos
Digital Security	Lesjak, Hein Hofmann, et al (2015); Roy, Stark, Tracht, Takata e Mori (2016); Huxtable e Schaefer (2016).	A segurança digital está vinculada a proteção dos sistemas, transações e locais de armazenagem dos dados e informações, objetivando preservar a integridade dos indivíduos e das organizações, públicas ou privadas, impedido o extravio e ou adulteração durante a comunicação dos agentes, sejam pessoas ou máquinas, atrelados no sistema.	Segundo o modelo de McCumber (1991), os fatores de segurança seriam divididos em três panoramas, que são eles: a Propriedade da Segurança da Informação, que é constituído pela Confidencialidade, Integridade e Disponibilidade do dado; a Medida de Segurança, que está pautada em Tecnologias, Conscientização e Políticas e Procedimentos; e os Estados da Informação, que seriam a Transmissão, o Armazenamento e o Processamento dos dados.	A ausência de conhecimento sobre a utilização dos sistemas digitais, que aumenta os riscos de acesso de terceiros a informações sigilosas e quebra da integridade dos dados por inputs errados ou equivocados gerando grandes problemas nos CPS, por exemplo. Além do fato que tudo está mais dependente dos sistemas digitais, do <i>big data</i> e do acesso remoto e em tempo ágil das informações, tornando tudo mais vulnerável e sensível a ataque de hackers, e até de terroristas, nas organizações e na sociedade como um todo.
Advanced Robotics	Mineo, Pierce, Nicholson e Cooper (2016); Chen e Tsai (2017); Dossou e Nachidi (2017).	A robótica é considerada uma forma de automação industrial que utiliza tecnologia de robôs na produção e controle do chão-de-fábrica (REDEL e HOUNSELL, 2004). E o principal instrumento utilizado na robótica é o robô, só que dentro da perspectiva de indústria 4.0 ele agora é mais autônomo e inteligente, dado a junção do robô e da inteligência artificial.	Pelo levantamento sistêmico realizado, dentro do âmbito da indústria 4.0, além da big data, do uso amplo de sensores, da realidade aumentada/simulação e softwares avançados que permitam o planejamento de trajetória flexível para a inspeção de superfícies curvas complexas, foi identificado que a junção do robô com a inteligência artificial é o fator preponderante para o sucesso da robótica avançada.	Com o aumento da produtividade, mais eficiente e menos custosa, gerada pela implementação da robótica, a taxa de desemprego, principalmente com relação ao trabalho mais braçal, vem aumentando e com isso trazendo grandes impactos negativos para a sociedade. Desta forma, este seria o maior obstáculo encontrado para plena implementação da robótica e automação industrial.

Fator	Autores	Breve descrição	Componentes fundamentais	Obstáculos
Additive Manufacturing	Zawadzki e Zywicki, (2016); Schmick, Luders, Wollnack (2016); Gibson et al. (2010); Durão et al. (2017).	São procedimentos, métodos e tecnologias da manufatura que gera objetos tridimensionais (3D) através de processos de adição de material camada por camada.	Basicamente, segundo Gibson et al. (2010), por meio das informações geradas pela transformação de um projeto em CAD em camadas é determinado a trajetória, por meio da linguagem CNC, e os parâmetros de deposição, que posteriormente são processados por quatro componentes básicos: controlador CNC, sistema de movimentação, fonte de energia e um sistema alimentação do material de adição.	De acordo com Bourell et al. (2009) alguns dos principais obstáculos da <i>Additive Manufacturing</i> é o tempo de fabricação de um único componente, que é muito maior frente a outros processos de fabricação, e a disponibilidade de um maquinário flexível o suficiente para atender a necessidade de se trabalhar com uma variedade de materiais, com grande nível de complexidade geométrica e precisão adequada, que variam de acordo com a peça e o custo de equipamento.
Digital Manufacturing	Wu, Terpenney e Schaefer (2017); Riel, Kreiner, Macher e Messnarz (2017); Giannetti e Ransing (2016); Tao, Cheng, Cheng, et al (2017).	Simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador (DO PRADO, 2004, p.24).	Um dos aspectos mais importantes para Manufatura Digital é que ela tenha um repositório central de dados, exclusivo. A Manufatura Digital utiliza dados da estrutura de materiais de engenharia (<i>Engineering Bill Of Materials</i> – EBOM) para criar a estrutura de materiais de produção (<i>Manufacturing Bill Of aterials</i> – MBOM) e a estrutura de processos (<i>Bill Of Processes</i> – BOP). Com isso, é essencial que a empresa seja movida por gestão de processos e tenha muito bem consolidada a gestão do conhecimento por meio de um sistema de informação integrado e seguro.	A capacidade de levantar premissas e variáveis fundamentais para modelar um sistema virtual que se aproxime, com uma certa precisão, da realidade estudada, e a complexidade dos programas de simulação, principalmente quando se trata dos algoritmos que estão por trás dele – uma caixa preta, gerando uma certa desconfiância quanto ao modelo simulado e a sua implementação no mundo físico.

Fator	Autores	Breve descrição	Componentes fundamentais	Obstáculos
Smart Factory	Kagermann (2014); Lee et al. (2014); Hermann, Pentek e Otto (2016); Maslarić, Nikolić e Mirčetić (2016); Wang; Wan; Li et al. (2016).	É uma fábrica que auxilia o contexto integrativo das pessoas e máquinas na execução de suas tarefas. Baseado nas definições dadas anteriormente para o CPS, a IoT e a manufatura aditiva, a <i>Smart Factory</i> pode ser definida como um fábrica onde o CPS se comunica através da IoT, colaborando com isso na execução efetiva das atividades das pessoas e máquinas, além da integração de tecnologias de manufatura aditiva e técnicas de realidade virtual.	Para Wang; Wan; Li et al. (2016) as fabricas inteligentes é um típico ambiente CPS, que interliga Redes Wireless Industriais (IWN) com a nuvem e terminais com dispositivos inteligentes no chão de fábrica, tais como máquinas, produtos e transportadores. Eles apontam ainda que a estrutura e as operações deste tipo de fábrica serão definidas pela reconfiguração auto-organizada e feedback e coordenação baseados em análises de big data. Com isso, <i>Big Data</i> , CPS, IoT, <i>Manufacturing Additive</i> e <i>Manufacturing Digital</i> , <i>Cloud Computing</i> , <i>Digital Security</i> e <i>Advanced Robotics</i> formam as fabricas inteligentes da indústria 4.0.	Além dos obstáculos já apresentados nos outros fatores que convergem na construção de uma fábrica inteligente, vale ressaltar que o custo de mudança seria o principal obstáculo neste âmbito de indústria 4.0, visto que ele impacta diretamente no desenvolvimento dos outros fatores, e que sem eles não seria possível alcançar a plenitude da <i>smart factory</i> .

Fonte: Autoria própria.

Assim, com o resultado da revisão, foi possível construir um referencial sobre a Indústria 4.0, garantindo uma perspectiva consolidada a respeito, iniciando a evolução da indústria seguido pelos fatores-chave de sucesso.

3. MÉTODO

Esta pesquisa é do tipo exploratória e utilizou abordagem qualitativa e quantitativa. O objeto de estudo foi a Indústria 4.0, desde duas perspectivas: a. Literatura científica, b. Percepções de especialistas sobre Indústria 4.0. Para a revisão da literatura foi utilizada a Teoria do Enfoque Metaanalítico Consolidado, de Mariano e Rocha (2017), e para conhecer as percepções dos especialistas, utilizou-se entrevistas baseadas nos pontos principais levantados na literatura.

Com isso, para o instrumento de coleta de dados, foi elaborado um questionário semiestruturado para entrevistar especialistas que estudam a Indústria 4.0, com o cuidado de integrar pesquisadores de áreas de pesquisa diferentes: Tecnologia e Inovação, Engenharia do Produto, Planejamento e Controle da Produção (PCP), Tecnologia da Informação e Logística:

1. Na sua opinião, o que seria a Indústria 4.0? E como você enxerga sua implementação no Brasil e no Mundo?
2. No seu ponto de vista, qual seria os principais pilares da quarta revolução industrial?
3. Após ser realizado um levantamento sistêmico da literatura, foram apontados seis pilares fundamentais da Indústria 4.0, como pode ser visto na Figura a seguir, qual é sua opinião sobre estes fatores encontrados (figura 8)? Alteraria ou acrescentaria mais algum fator?

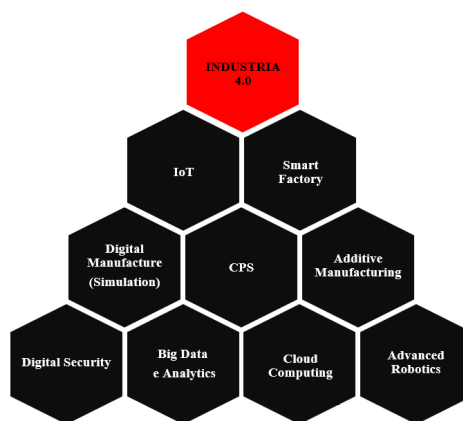


Figura 8 - Os nove pilares da Indústria 4.0
Fonte: Autoria própria.

4. Gostaria de complementar mais alguma coisa sobre a Indústria 4.0?

A amostra foi formada por seis pesquisadores especialistas e a coleta de dados realizada entre os dias 04 junho ao dia 18 de junho de 2018. Foi utilizado um gravador para registrar toda a entrevista, que posteriormente foi transcrita para serem analisadas pelo software IRaMuTeQ.

O Software IRaMuTeQ (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*), foi desenvolvido por Pierre Ratinaud (2009), e é um programa gratuito, desenvolvido sob a lógica *open source*, e está ancorando no ambiente estatístico do software R e que proporciona inúmeras maneiras de análises estatísticas sobre dados textuais. Desenvolvido inicialmente em língua francesa, este programa começou a ser utilizado no Brasil em 2013 (CAMARGO e JUSTO, 2013). Ainda de acordo com Camargo e Justo (2013) o IRaMuTeQ possibilita os seguintes tipos de análises: Estatísticas Textuais Clássicas; Pesquisa de Especificidades de Grupos; Classificação Hierárquica Descendente; Análises de Similitude, Nuvem de Palavras, entre outras. Nesta pesquisa foram utilizadas as análises do tipo: Estatísticas Textuais Clássicas; Classificação Hierárquica Descendente (CHD), Análise Fatorial Confirmatória (AFC) e Análise de Similitude.

A CHD é um agrupamento de segmento de textos e seus vocabulários, que por meio de correlação, são organizados em classes hierarquizadas. Cada classe categoriza uma ideia do segmento do texto. A AFC apresenta os diferentes discursos e a Análise de Similitude auxilia na investigação das palavras que estão aproximadas. A árvore de palavras, ou Análise de Similitude, é constituída por termos com maior significância e, as que estão ao seu redor, são aquelas próximas a ela no discurso (SANTOS e MARIANO, 2018).

Assim, os Resultados e Análises apresentam as contribuições dos especialistas por meio do Iramuteq.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Entrevista Semiestruturada

4.1.1 Estatística Textual Clássica

Foram realizadas seis entrevistas, assim, o número de textos analisados foram seis. Ao rodar a análise Estatística Textual Clássica, foram encontrados 193 segmentos de texto (são grupos de texto de pelo menos três linhas), o número de ocorrências gerados foram de 6960, o número de formas foi 980, o número de hápax foi de 476 (6,68% de ocorrências – 48,88% de formas), onde hápax são aquelas palavras que são citadas uma única vez. A média de ocorrências por texto foi de 1160. Foi gerado também um diagrama de Zipf (Figura 9) que apresenta o comportamento das frequências das palavras no *corpus*, num gráfico que ilustra a distribuição de frequência X rang, escala logarítmica, que representa uma relação de palavras que são apresentadas com maior

frequência e menor variedade frente as palavras menos frequentes, mas mais presentes. Os textos apresentam poucas palavras que se repetem muitas vezes e muitas palavras que repetem poucas vezes.

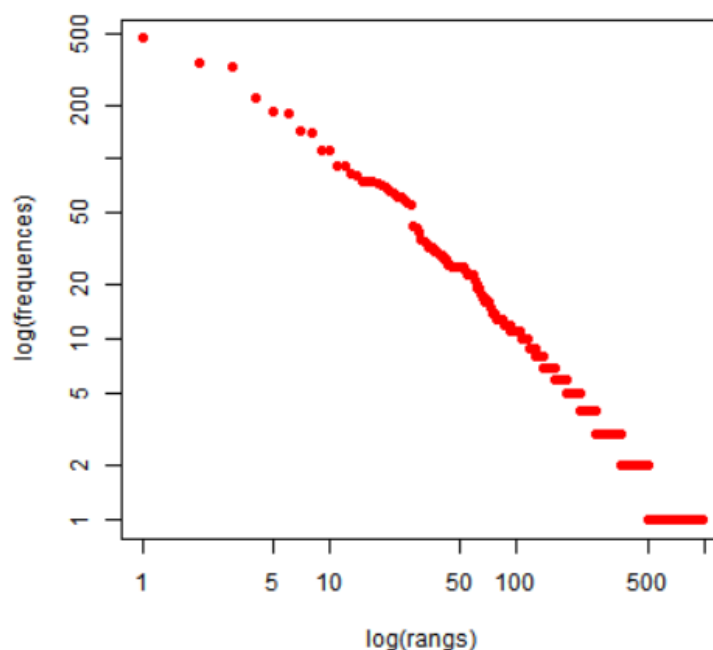


Figura 9 - Diagrama de Zipf

Fonte: Autoria própria, realizado por meio do software IRaMuteq.

A palavra com maior frequência dos *corpus* texto foi o adverbio “não”, com 92 duas vezes, e se refere a perspectiva negativa, ou a descrença por parte dos entrevistados sobre a não aplicação da indústria 4.0 no Brasil. Isso se deve em parte pelo momento da crise que vive o país, e dos fatores históricos e culturais do Brasil ser mais consumidor das tecnologias estrangeiras do que produtor e ou desenvolvedor de tecnologias disruptivas, inovadoras.

Uma vez encontradas as maiores frequências de palavras, optou-se por organizar os discursos em classes com a finalidade de encontrar os padrões de respostas contidas nas entrevistas por meio da Classificação Hierárquica Descendente (CHD), apresentada no tópico seguinte.

4.1.2 Classificação Hierárquica Descendente (CHD)

A Classificação Hierárquica Descendente (CHD) permite a análise de segmentos de textos que apresentam vocabulário semelhante entre si e vocabulário diferente de outros segmentos de texto, simultaneamente, calculando distancias e proximidades a partir de testes do Qui-Quadrado. Com isso, na análise de CDH, foram encontrados seis linhas do corpus textual, apresentado na Figura 31. Vale ressaltar que se obteve um aproveitamento de 79,27% do texto (todas as entrevistas consolidadas), se mostrando valido conforme Santos (2017), pois é superior a 70%.

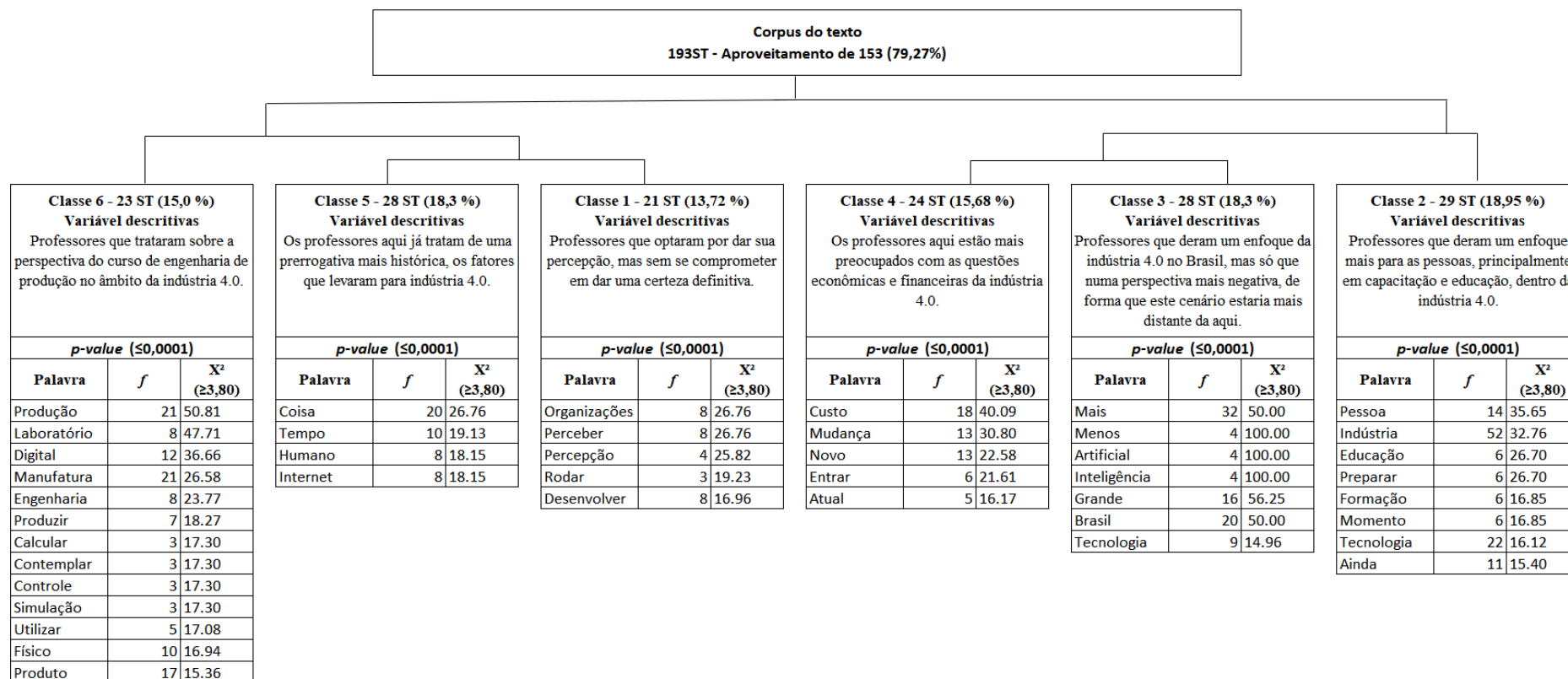


Figura 10 - Classes de Palavras por frequência e qui-quadrados
Fonte: Autoria própria, realizado por meio do software IRaMuteq.

Essas seis classes encontradas foram divididas em: classe 1, com 13,72%, a classe 2, com 18,95%, a classe 3, com 18,3%, a classe 4, com 15,68%, a classe 5, com 18,3% e por fim, a classe 6, com 15,0% de representação dos segmentos de texto aproveitados. De maneira que cada classe consta das palavras com maior frequência (f) e seus respectivos Qui-quadrados (χ^2), garantindo a significância de cada classe apresentada.

A classe 1 (Professores Conservadores, 13,72%) é representada pelos professores que apenas deram suas percepções, e isto é compreensível visto que a indústria 4.0 é um tema muito recente e não está tão consolidado. Enfatizando isso é possível ver nas palavras “Perceber” e “Percepção”, e nos trechos retirados das entrevistas, apresentados abaixo:

“...então, o que eu percebo é que as organizações, de uma forma geral, elas não têm essa visão! Eu estou falando, mas assim, de uma percepção! Mais pelo lado que é um lado que eu trabalho mais!”

“... eu acho que assim... até a gente chegar realmente a primeiro definir esse conceito geral de que é um modelo que a gente gostaria que fosse de que funcionasse daquela forma”

A classe 2 (Professores Humanistas, 18,95%) representa os professores que levantaram o aspecto humano no âmbito da indústria 4.0, pensando na questão da capacitação e educação. Conforme é possível ver na presença das palavras: “Pessoa”, “Educação”, “Preparação” e “Formação”, e dos trechos retirados das entrevistas, apresentados abaixo:

“...então eu acho que você deve colocar como pilar também da indústria 4.0 a formação e capacitação dos recursos humanos porque nada adianta você ter tais tecnologias e indústria avançadas se você não tiver pessoas preparadas para trabalhar com a indústria 4.0”

“...outro pilar extremamente importante na indústria 4.0 é o pilar da educação e capacitação para a indústria 4.0. Porque assim, a indústria 4.0, vai ter todas as tecnologias habilitadoras e etc. Mas tem que ter as pessoas formadas e preparadas para isso!”

“... eu acho que é um tema bastante de momento, mas a gente ainda fala muito em termos de governo e de academia...”

“... eu acho que um pilar essencial seria realmente a educação para a indústria 4.0...”

“... em termos do trabalhador se identifica ainda a necessidade de formação mais abrangente...”

A classe 3 (Professores Pessimistas, 18,3%) são dos professores que trataram da perspectiva da indústria 4.0 no Brasil, porém, alertavam sobre o pouco preparo estrutural do país. Para isso, destacam-se as palavras: “Menos” e “Brasil”, além dos trechos retirados das entrevistas, apresentados logo em seguida:

“...então assim, hoje o que eu percebo é que, por exemplo, o Brasil, na minha percepção, ele engatinha!”

“...acho que a concepção é que a gente caminhe para isso num futuro mas eu percebo que

a gente ainda está muito longe disso muito longe porque a gente não tem o básico!”

“...e o Brasil nesse aspecto ainda está mais atrasado...”

“...difícilmente eu vejo o Brasil como produtor ou desenvolvedor de tecnologias da indústria 4.0 isso se deve pelo atraso de investimento em infraestrutura e principalmente em educação ...”

“...principalmente na Alemanha, já se tem muitas grandes empresas como a Siemens e a Bosch que são empresas que já tem a indústria 4.0, mas no Brasil, na minha opinião, no Brasil ainda estamos bastante incipientes nessa questão ...”

“...tendo como pilar central a inteligência artificial pensando na manufatura numa coisa mais ligada a engenharia de produção e vendo a nossa realidade sabemos que 90 a 95 das indústrias do Brasil são de micro e pequenas empresas que não tem acesso nem talvez a indústria 2...”

“...infelizmente o Brasil vai passar a mercê dessa evolução, desse novo passo da indústria, denominado de indústria 4 0, a indústria 4.0 tem como pilar essencial a inteligência artificial aplica a resolver problemas dos mais genéricos...”

A Classe 4 (Professores Financeiramente Zelosos, 15,68%) aponta os professores que se preocupam mais com a questão financeira e econômica, pois a incrementação da Indústria 4.0 está relacionada com custos adicionais, seja de investimento ou da própria mudança. Realçando as palavras “Custo”, “Mudança” e “Novo”, e vale apontar os trechos:

“...as empresas elas não estão ainda preparadas para ser indústria 4 0 no Brasil porque isso requer alto investimento...”

“... um processo melhor aí você tem que adquirir este novo equipamento, mas e o que você já tem este é o custo de mudança mas por que porque está associado aos custos enterrados...”

“... outro ponto importante seria o custo de mudança sobre minha perspectiva normalmente quando se instala um fábrica você tem o que chamamos de custos enterrados que são estes equipamentos e infraestruturas que não tem um mercado organizado para você vender e isso aí é um custo da mudança...”

“e isto tem impacto nas finanças da empresa obviamente pois se alterou a estrutura de custos impacta os demonstrativos financeiros da empresa como é que você faz o estudo de viabilidade do software não é igual a de uma máquina”

Já a classe 5 (Professores Historiadores, 18,3%) retrata uma prerrogativa mais voltada para as questões históricas, ou seja, aquilo que antecedeu e convergiu para o surgimento da indústria. Evidenciando isso as palavras “Tempo” e “Coisa”, além dos trechos:

“...e da mesma forma que houveram marcos de ruptura nas outras revoluções indústrias desta vez serão os robôs integrados em sistemas ciberfísicos os responsáveis por uma transformação profunda”

“...chegou um momento que a manufatura não poderia continuar sozinha e então ela teve que dar as mãos a muitas outras áreas de conhecimento... então pode se ver influências das áreas de computação aplicada, gestão de pessoas e administração ...”

“...se você já olhou isso porque estes pilares eles estão baseados em tecnologias habilitadoras talvez se você buscar em manufatura avançada perspectiva da linha americana que vai fazer essas tecnologias habilitadoras talvez te ajude bastante neste levantamento ...”

“essas mudanças é o que alguns especialistas vêm denominando de a quarta revolução

industrial caracterizada pela convergência de tecnologias digitais físicas e biológicas a indústria 4.0”

“onde muitas destas tecnologias habilitadoras estão em torno de novos materiais na biotecnologia e na computação em nuvem por exemplo você tem que desenvolver tudo isso aí que leva ao desenvolvimento da indústria 4.0”

“tudo tem que ser muito bem definido até que você conseguir alcançar esse patamar de avanço tecnológico de inovações tecnológicas que eu acho que isso tudo tem muito a ver com esse conceito que a indústria 4.0”

“ele desenvolveu ferramentas que era estudos de tempos e movimento mas isso gerou um problema muito sério porque se tratava de a diminuição do homem como ser humano colocava o ser humano praticamente com um robô produzir apenas uma peça de cada vez para construir algo maior que ele nunca via”

Por fim, a classe 6 (Professores Condescendentes com a Engenharia de Produção, 15,0%) aponta os professores que trataram da engenharia de produção no aspecto da indústria 4.0, evidenciando as palavras “Produção”, “Engenharia” e “Contemplar”, além dos trechos:

“ah... ok! Eu vou criar então um laboratório de engenharia de produção onde o laboratório vai produzir um determinado serviço e para isso ele deve existir também softwares específicos onde você não só utilizaria a manufatura digital para poder produzir esse serviço”

“manufatura de um produto físico... ok! A gente poderia pensar num laboratório que você pudesse produzir algum produto e ao mesmo tempo você aplicar as técnicas de engenharia de produção ...”

“isso a gente pensando num laboratório de manufatura física quando eu penso num laboratório pensando assim eu posso criar um laboratório de engenharia de produção todo digital manufatura digital”

“não têm aqui você pode observar as instalações da universidade de Brasília, umas das melhores universidades do país... top, tudo!... lamentável os laboratórios, são terríveis... pode ter equipamento, mas não se tem o material para trabalhar pois é caro”

Assim, pode-se perceber que as Classes apresentam discurso diferentes, formando o perfil intrínseco, próprio e característico de cada perfil e linha de pesquisa dos professores, gerando uma prospectiva heterogenia e ampla, embarcando uma diversidade de posicionamentos que se completam e se fortificam.

4.1.3 Análise Fatorial Confirmatória (AFC)

Na Análise Fatorial Confirmatória é visto que quanto mais distantes os elementos dispostos no plano, menos eles falam das mesmas coisas. Mas, de acordo com Nascimento e Meandro (2006) que afirma que a disposição de agrupamentos em polos opostos no plano dos eixos não necessariamente indica relação de oposição semântica desses mesmos agrupamentos, podendo indicar também a complementaridade de mundos distintos. Com isso, é possível ver na Figura 11 a distribuição e a relação dos principais elementos textuais das entrevistas. De maneira que é possível analisar em que ponto converge o compartilhamento das estruturas textuais de cada classe, observando a interação entre as os trechos de texto e os pontos compartilhados.

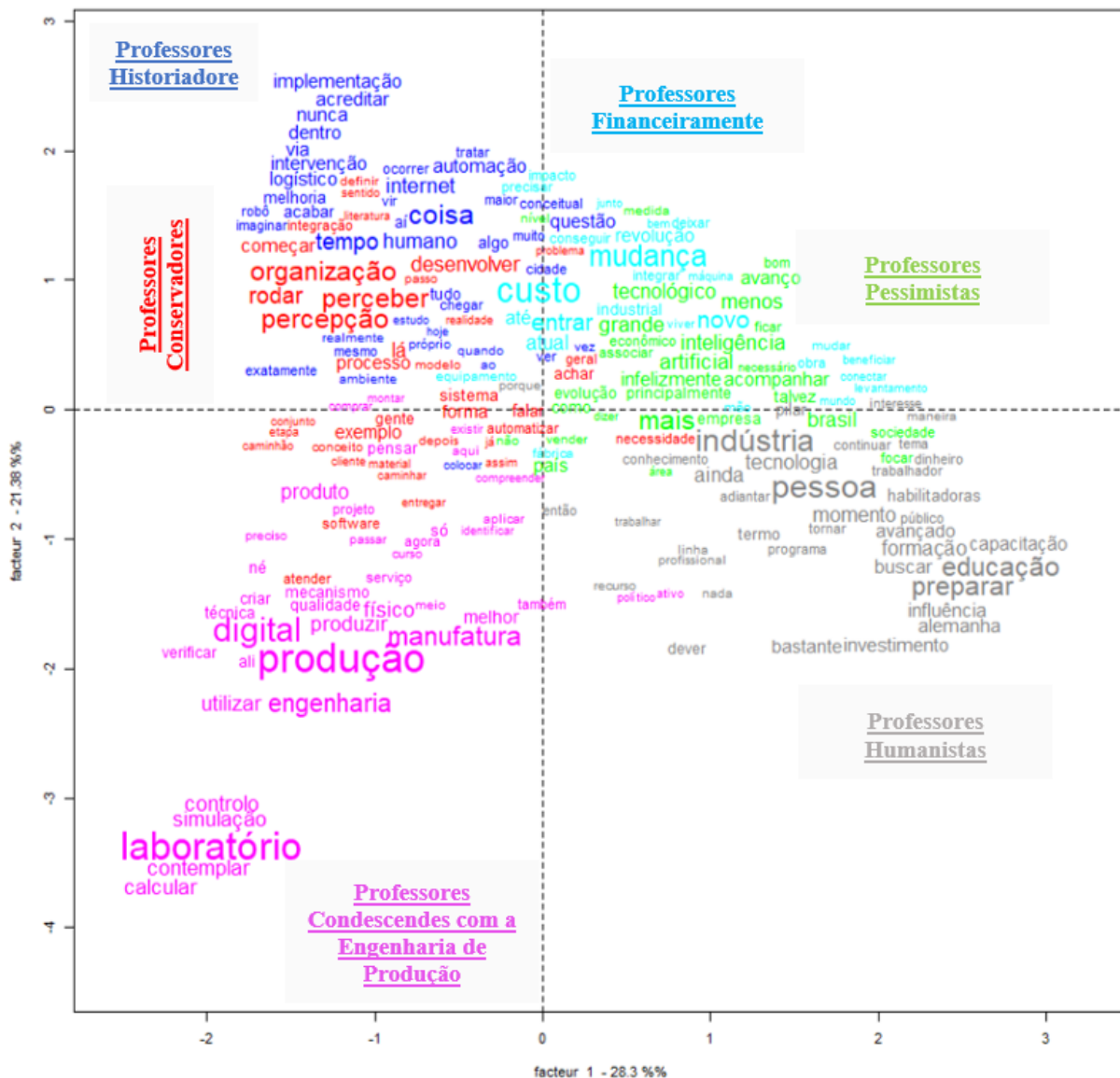


Figura 11 - Análise Fatorial Confirmatória

Fonte: Autoria própria, realizado por meio do software IRaMuteq

Com isso, é possível averiguar na Figura 11 a formação de quatro *clusters*, um para cada quadrante. Onde a classe 6 (Professores Condescendentes com a Engenharia de Produção) está mais afastada pois trata da perspectiva da engenharia de produção dentro da indústria 4.0, a classe 5 (Professores Historiadores) e a classe 1 (Professores Conservadores) estão mais próximas pois se por um lado você tem um grupo mais “conservador” por outro você tem um grupo que está preocupado e antever os acontecimentos que convergem para a indústria 4.0. Pode-se ver que os professores mais “pessimistas” compartilham ideias com os professores que estão mais preocupados com as questões financeiras. Por fim, a classe 2 (Professores Humanistas) tem outras perspectivas que a afasta das outras classes, que seria a visão voltada para os recursos humanos, para o homem dentro deste cenário, robotizado e digital, como a peça fundamental, mas para isto, é necessário o empenho de esforços para a capacitação, para a educação.

E com base no que foi apresentado sobre a formação de cada classe e a distribuição e interação dos trechos das entrevistas, faz todo sentido essas formações de *clusters*, pois, por um lado têm-se um grupo de professores que estão mais preocupados com as questões da perspectiva da engenharia de produção dentro do âmbito da indústria 4.0, juntamente com os professores que buscam uma prerrogativa de como se forma esta indústria 4.0 e aqueles que ainda não deram um posicionamento mais sólido sobre o que ela é frente ao grupo que está mais preocupado com as questões de custos e como o Brasil está longe de chegar a indústria 4.0, principalmente na questão da educação, conclui-se assim, total coerência na formação destes grupos, pois compartilham e complementam pontos distintos ou não.

4.1.4 Análise de Similitude

Na Análise de Similitude, o tamanho das palavras e a espessura dos traços que as conectam, possui significado, trazendo indicações da conexão entre as palavras e auxiliando na identificação da estrutura de um corpus textual (CAMARGO e JUSTO, 2013). Com isso, esta análise oferece a sequência das palavras no discurso e as ligações mais fortes e de maior frequência no corpus textual. A Figura 12 apresenta o grafo de similitude, onde são destacados três eixos aglutinadores das falas dos entrevistados, de maneira que as palavras mais fortes, ou seja, as que representam cada aglutinação são: “gente”, “não” e “indústria”.

Dando continuidade na análise, é possível identificar o caminho que as palavras percorrem no decorrer da fala dos entrevistados e a tendência que elas possuem de aparecer juntas. Como dito antes, as ligações mais fortes e mais recorrentes no corpus textual são representadas pelas linhas mais espessas.

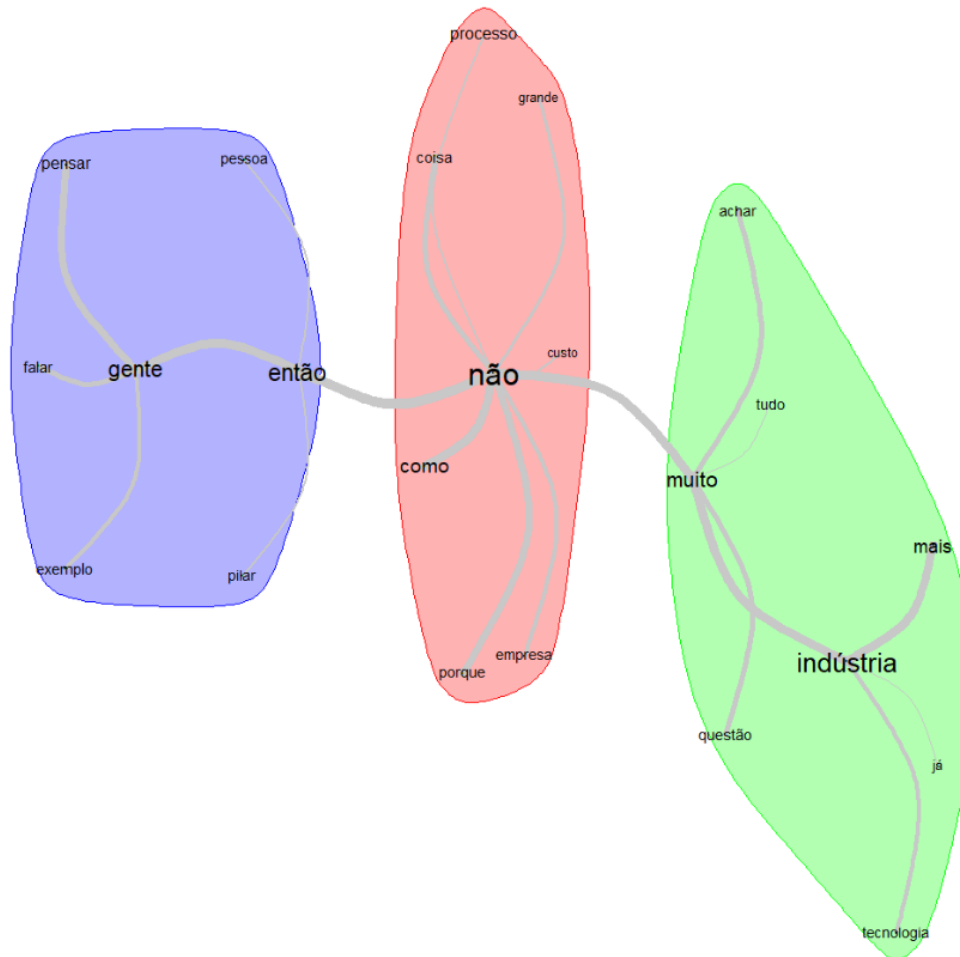


Figura 12 - Grafo de Similitude

Fonte: Autoria própria, realizado por meio do software IRaMuteq

De forma geral, a palavra “gente” representa a necessidade que indústria 4.0 tem das pessoas, principalmente sobre a questão de educação e capacitação, onde é evidenciado a palavra “pilare” nessa aglutinação, fortalecendo ainda mais que sem as “pessoas” não existe indústria 4.0. Já a palavra “não” é a mais destacada, isso se deve ao fato que quase todos, se não todos, os entrevistados desacreditam que as “empresas” no Brasil estão aptas para atuar neste novo cenário. Nesta perspectiva, vale ressaltar as palavras “custo”, “processo” e “como”, onde é visto que o custo de mudança e os investimentos necessários para a organização chegarem no âmbito da indústria 4.0 é muito alto, além disso, a palavra “como” está ligado a qual maneira, a forma de se estruturar todas essas tecnologias habitadoras da manufatura avançada, de modo a requerer um domínio forte e intensivo na gestão de processos para isso, referenciando a palavra “processo” com outro fundamento. Por fim, a outra palavra central é a “indústria”, onde se destacam o “muito”, o “mais”, a “questão” e a “tecnologia”, que seriam os fatores em geral que estruturariam essa nova concepção da quarta revolução industrial, que ainda está muito aberta, ampla, sem um consenso único e unificador.

Assim, pode-se perceber que as principais implicações da Logística do Conhecimento estão como ponto de partida para a construção de uma base sólida e consolidada de tudo que venha a ser a Indústria 4.0,

visto que à medida que o mundo se torna mais interligado e os negócios mais complexos e dinâmicos, as atividades precisariam se firmar em profundidade com a informação, que é o elo fundamental da logística do conhecimento.

Dentro do âmbito da Indústria 4.0 existirá uma vasta disponibilidade de dados, muito maior do que se pode imaginar, gerando com isso uma complexidade enorme em transformar esses dados em informação. Além disso, torna essa informação acessível e disponível em tempo real, com confidencialidade e integridade, que já é um problema nos dias atuais, na indústria 4.0 toma um outro nível de dificuldade, pois as informações deverão reagir dinamicamente as necessidades e mudanças imprevistas, suportando as rápidas operações e gerando entregas efetivas de informações aos usuários, sejam máquinas ou seres humanos, sempre de maneira personalizada e interativa, transformando assim informação em conhecimento.

Complementando esse cenário de grande quantidade de dados gerados a todo momento, junto com a interconexão das coisas, pela internet e computação em nuvem, a junção do mundo físico e digital, pelos sistemas ciber-físicos e manufatura digital ou simulação, e a robótica avançada com a inteligência artificial, é de extrema importância a consolidação do entendimento pleno, ou melhor dizendo, visão sistêmica. Isso seria a fusão dos conhecimentos adquiridos sistematicamente, e a partir desses “vários conhecimentos” adquiridos gerar novos conhecimentos de forma holística, continuada e sistêmica, tema que é amplamente abordado na logística do conhecimento, ver tópico 3.1, e que é de extrema relevância para o sucesso da indústria 4.0. Com isso, o tópico seguinte propõe um modelo que estrutura o cenário da quarta revolução industrial pelos fundamentos da união da Logística do Conhecimento e da Logística, sendo estes dois a base para se alcançar a indústria 4.0.

4.2 Aplicações práticas – Modelo Proposto

Conhecendo as principais implicações da Indústria 4.0, assim como as principais contribuições da literatura, nos três campos do conhecimento: Logística do Conhecimento, Logística e Indústria 4.0 possibilitou um entendimento mais aprofundado da estruturação do novo paradigma industrial, principalmente sobre as questões da informação e do conhecimento, e adicionalmente, por meio das análises de redes e análises textuais das entrevistas com os pesquisadores, foi possível propor um modelo de etapas a serem cumpridas para escalar a pirâmide 4.0, que é apresentado na Figura 13.

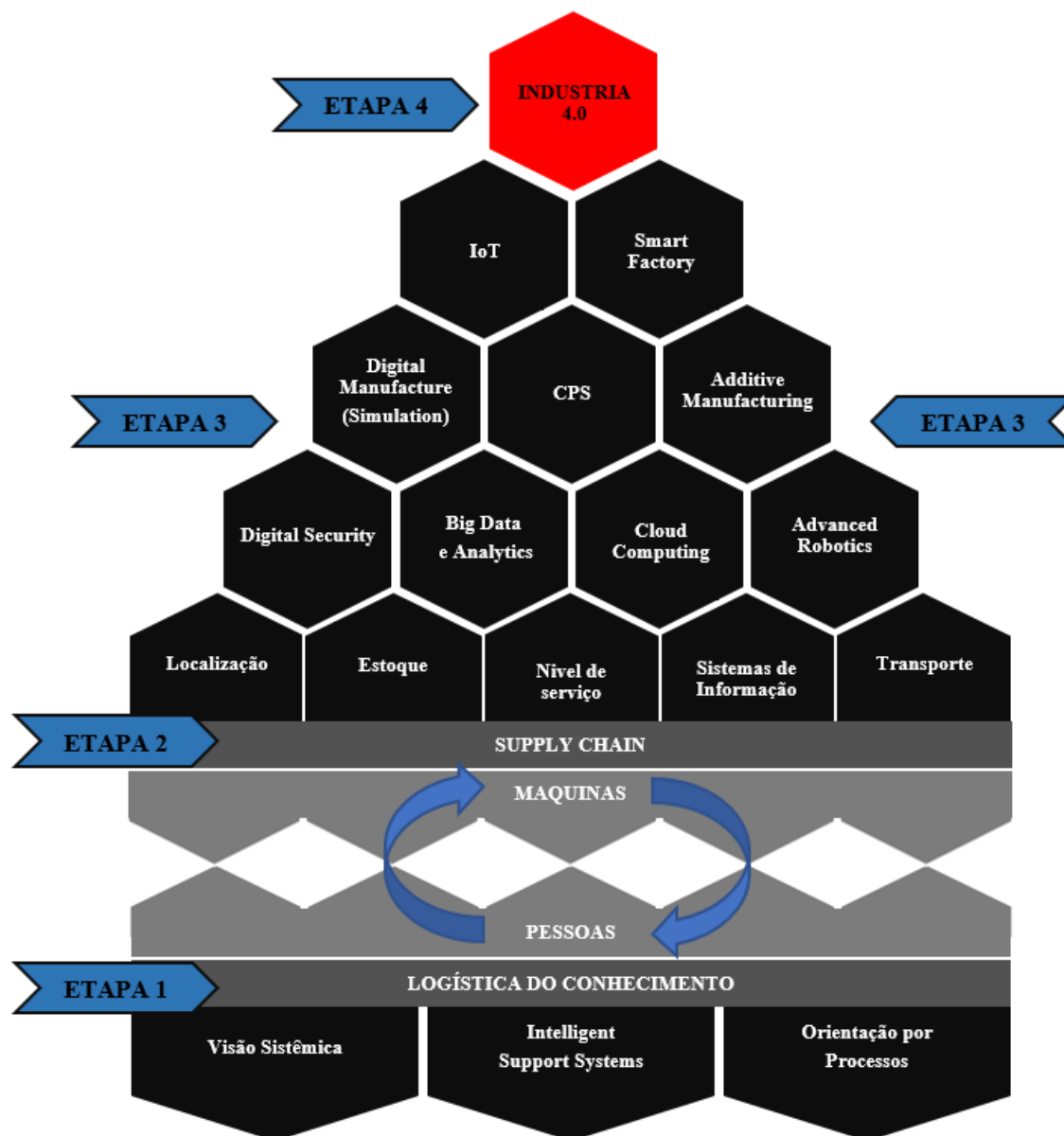


Figura 13 – Modelo proposto
Fonte: Autoria própria

Vale salientar que para as empresas alcançarem o âmbito de indústria 4.0 elas devem trabalhar em etapas, fazendo possível a implementação da mesma

Pode-se perceber que um dos aspectos de maior mudança na Indústria 4.0 está relacionado a Logística, visto que a “Logística é a parte dos processos da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo e estocagem de bens, serviços e informações correlatas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo” (PIRES, 2004, p. 58).

Outro fator importante, segundo Fischer (2001), é o papel da gestão do conhecimento nos processos organizacionais. Fleury e Fleury (1995) explicam que é por meio do processo de aprendizagem e de gestão do conhecimento que as organizações podem desenvolver as competências necessárias para a realização de sua

estratégia competitiva.

Deste modo, o processo de avance organizacional para o que se chama de Indústria 4.0, implica em uma série de ações prévias que garanta que a empresa esteja preparada para seu uso. Smirnov et al. (2003), explica que o intercâmbio intensivo de conhecimento entre os participantes do ambiente de informação global, juntamente com uma grande quantidade de fontes de informação distribuídas em uma infinidade de banco de dados e nos mais variados formatos, culminou no surgimento de uma nova direção no gerenciamento do conhecimento, chamada de logística do conhecimento.

Com isso, pode-se dizer que a gestão do conhecimento juntamente com as tecnologias da informação, são responsáveis em possibilitar a integração dos processos e a fluidez da informação por toda organização, impactando intrinsecamente na evolução sistemática dos dados em conhecimento e gerando otimização do emprego dos recursos em toda cadeia. Assim pode-se perceber que falar de Indústria 4.0, é envolver uma série de temas, iniciando por possibilitar a organização aprender, por meio da gestão do conhecimento aplicado, o que Smirnov et al. (2003), chama de Logística do Conhecimento.

Justamente a Logística do conhecimento é a primeira etapa necessária para a implementação da Indústria 4.0, o que engloba uma visão da organização voltada para processos e com visão sistêmica. Adicionalmente está inserido o empenho de recursos para o desenvolvimento de sistemas de suporte inteligentes, que formarão a base de um sistema de informação íntegro, seguro e inteligente, que estará apto a receber a implementação do *Big data*, da computação em nuvem e da inteligência artificial, e com isso chegar ao nível de entendimento pleno, ou sabedoria, em todo o *Supply Chain*.

Ressaltando que a gestão do conhecimento por meio dos sistemas inteligentes de informação, ponto que foi discutido no capítulo dois, convergiu para o que hoje conhecemos como CPS, integração homem máquina. Esta interação de pessoas e máquinas dentro de um sistema começou da perspectiva da Logística do Conhecimento, e foi intensificado pelo empenho do BPM e da inteligência artificial e robótica avançada dentro do *Supply Chain*.

E pela perspectiva da Logística, que é a segunda etapa a ser alcançada, os cinco pilares já consolidados pela literatura – nível de serviço, estoque, transporte, localização e sistemas de informação - ainda são objetos fundamentais dentro das organizações, mas se tornaram ainda mais complexos e dinâmicos no âmbito da indústria 4.0, que está mais interligada e competitiva. Sendo estes cinco pontos os elos de alavancagem e busca continuada por melhoria da tecnologia como ponto de ruptura e eficiência na gestão por competitividade e participação de mercado.

Onde pode-se deparar que a evolução da logística até o *Supply Chain* acompanhará a Indústria 4.0 como fator competitivo para as empresas nos próximos anos. Visto que Fleury e Fleury (1995, p. 58) já dizia que “nunca a tecnologia foi tão importante como nos tempos atuais; mesmo assim, ficou mais difícil estabelecer vantagem competitiva a partir de tecnologia apenas”, encontrando na logística, ou melhor dizendo, no *Supply Chain* uma forma de alavancar a competitividade das organizações que querem se destacar nesse

cenário 4.0. Nesta linha, Moura (2006) afirma que atualmente a chave do sucesso está na logística, principalmente quando se trata do contexto de vantagem competitiva e espaço de mercado, pois a preferência do cliente está atrelada a quem chegar primeiro no mercado, quem for mais rápido em dar informações, quem servir melhor e quem entender melhor as necessidades e expectativas dos clientes.

Além disso, outro ponto de destaque é que, independentemente da efetiva consolidação da Logística com a Logística do Conhecimento que estruturaram fundamentalmente a indústria do futuro, sem a visão organizacional voltada para a gestão de processos não será possível a efetiva implementação das novas tecnologias habilitadoras da manufatura avançada dentro das organizações, pois sem gestão de processos não saberemos em que patamar a organização se encontra atualmente, e sem isso não conseguiremos projetar as devidas ações que alavancarão a organização para o patamar de Indústria 4.0.

Após alcançar plenamente as etapas 1 e 2, a etapa seguinte é a implementação das tecnologias habilitadoras e os métodos disruptivos e inovadores de manufatura, como a manufatura digital e aditiva, a robótica avançada, big data, inteligência artificial, internet das coisas, entre outros que já foram discutidos no corpo deste trabalho, objetivando com isso a devida integração e alcance pleno dos nove elos, *Cyber-Physical Systems (CPS)*, *Internet of Things (IOT)*, *Additive Manufacturing*, *Digital Manufacture (Simulation)*, *Smart Factory*, *Big Data e Analytics*, *Cloud Computing*, *Digital Security e Advanced Robotics*, propostos neste trabalho e com isso alcançar a última etapa, etapa 4, e está no nível, âmbito da Indústria 4.0.

Com isso, foi definido que a Indústria 4.0 é a convergência, integração plena de um leque de tecnologias inovadoras, ou não, que são usadas em conjunto, com o objetivo de automatizar sistematicamente todos os processos industriais e logísticos, em todo o *Supply Chain*, com o maior nível de autonomia e integração homem-máquina, ao nível de conhecimento pleno de todo o sistema, ou seja, tudo que acontece é controlado de forma holística, em tempo real e em qualquer lugar do mundo, seja por homens ou pelas próprias máquinas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E FUTURAS LINHAS DE PESQUISA

O objetivo deste trabalho foi realizar uma taxonomia a respeito do tema indústria 4.0. Para isso se realizou uma revisão exaustiva da literatura sobre o tema e coletada as percepções de especialistas sobre Indústria 4.0. Se encontraram nove fatores-chave para o sucesso da indústria 4.0 (*Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IOT), *Additive Manufacturing*, *Digital Manufacture (Simulation)*, *Smart Factory*, *Big Data e Analytics*, *Cloud Computing*, *Digital Security* e *Advanced Robotics*) e os principais obstáculos a implementação destes fatores.

O estudo conseguiu oferecer um quadro integrador com as maiores contribuições da literatura sobre indústria 4.0, apresentar conceitos para o tema e sugerir um modelo de implementação para indústrias em etapas anteriores.

E em prol das pesquisas futuras, recomenda-se um maior aprofundamento do arcabouço teórico e a tentativa de aplicação do modelo proposto neste trabalho, visando analisar as mudanças e os impactos dentro da organização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMBRUST, M.; FOX, A.; GRIFFITH, R.; JOSEPH, A. D.; KATZ, R. H.; KONWINSKI, A.; LEE, G.; PATTERSON, D. A.; RABKIN, A.; STOICA, I.; ZAHARIA, M. **Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing**. Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley, fev. 2009.
- ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS - ABPMP. **Guia para o gerenciamento de processos de negócio corpo comum de conhecimento**. ABPMP, 2009.
- AZEVEDO, M. **Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BALDAM, R.; VALLE, R.; ROZENFELD, H. **Gerenciamento de Processos de Negócio BPM: uma referência para implantação prática**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial**. Bookman Editora, 2009.
- BALTHAZAR, J. C.; DA SILVA, J. M. **A Aprendizagem Baseada em Projeto no Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Brasília**. In: Second Ibero-American Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE'2010): Creating Meaningful Learning Environments. 2010. p. 141-144.
- BEAMON, B. M. 1998 **Supply chain design and analysis: Models and methods**. International Journal of Production Economics.
- BLANCHET, M. et al. **Industry 4.0: The new industrial revolution-How Europe will succeed**. Hg. v. Roland Berger Strategy Consultants GmbH. München. Abgerufen am 11.05. 2014, unter http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_TAB_Industry_4_0_2014_0403.pdf, 2014.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 2006. (Coleção Ciências da Educação).
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2001.
- BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies**. WW Norton & Company, 2014.
- CALAZANS, A. T. S. et al. **Uma Revisão Sistemática da Bibliografia sobre Usabilidade Móvel Utilizando o Enfoque Meta-Analítico**. Revista Espacios. v. 37. n. 10. p. 18, 2015.
- CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. **IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais**. Temas em psicologia, v. 21, n. 2, p. 513-518, 2013.
- CAMARGO JUNIOR, J. B.D.; PIRES, S. R. I.; SOUZA, AHR. **Sistemas integrados de gestão ERP e cloud computing: Características, vantagens e desafios**. SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, v. 2010, 2010.
- CARBONE, P. P.; BRANDÃO, H. P.; LEITE, J. B. D. **Gestão por competências e gestão do conhecimento**. In: Gestão por competências e gestão do conhecimento. 2009.
- CHEN, I. J.; PAULRAJ, A. **Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements**. Journal of Operations Management, 22: 119-150 – 2004.
- CHIABURU, D. S. **Analytics: A Catalyst for Stagnant Science**. Journal of Management Inquiry, v. 25, n. 1, p. 111-115, 2015. Disponível em: <<http://jmi.sagepub.com/content/early/2015/08/21/1056492615601342.abstract>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Indústria 4.0: novo desafio para a indústria Brasileira**. 2016.

COBO, M. J. et al. **SciMAT: A new science mapping analysis software tool**. Journal of the Association for Information Science and Technology, v. 63, n. 8, p. 1609-1630, 2012.

CUNICO, M. W. M. **Impressoras 3D: o novo meio produtivo**. Concep3d Pesquisas Científicas, 2015.

DE CARLI, P. C.; DELAMARO, M. C.; SALOMON, V. A. P. **Identificação e priorização dos fatores críticos de sucesso na implantação de fábrica digital**. Revista Produção. São Paulo, 2010.

DE CARLI, P. C.; DELAMARO, M. C. **Implantacao da Manufatura Digital numa Empresa: Identificando os Fatores Críticos de Sucesso**. Proceedings of XVII Encontro Nacional da Engenharia de Produção, p. 1-10, 2007.

DO PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação**. Desenvolvimento Gerencial, 2004.

DURÃO, L. F. CS et al. **Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 93, n. 1-4, p. 869-880, 2017.

DUSTDAR, S. C. **A process-aware collaboration system supporting ad hoc and collaborative processes in virtual teams**. Distributed and parallel databases, v. 15, n. 1, p. 45-66, 2004.

DRATH, R.; HORCH, A. **Industrie 4.0: Hit or hype?** [industry forum]. IEEE industrial electronics magazine, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

EINSIEDLER, I. **Embedded Systeme für Industrie 4.0**. Product. Manag. v. 18, p. 26–28, 2013.

FIASCHETTI, A.; PIETRABISSA, A.; DELLI PRISCOLI, F. **Towards manufacturing 2.0: An innovative architecture for the Factory of the Future**. 2015 European Conference on Networks and Communications, EuCNC 2015, p. 450–454, 2015.

FISCHER, A. L. et al. **Gestão por competências: um modelo avançado para o gerenciamento de pessoas**. 2001.

FISHER, F. **Essa tal Logística 4.0**. Tecnológica, São Paulo, v. 246, n. 1, p.44-52, out. 2016. Mensal.

FISHER, M. **What is the right supply chain for your product?** (1997). Harvard Business Review. 75.2 (March-April 1997): p105.

FLEURY, A. C. C.; FLEURY, M. T. L. **Aprendizagem e inovação organizacional: as experiências de Japão, Coréia e Brasil**. Atlas, 1995.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 2002.

FRANCESCHINI, P. C. **Essa tal Logística 4.0**. Tecnológica, São Paulo, v. 246, n. 1, p.44-52, out. 2016. Mensal.

FREEMAN, L. C. **“Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification”**, Social Networks, v. 1, pp. 215-239, 1978.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas,2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Design for additive manufacturing**. In: Additive Manufacturing Technologies. Springer, Boston, MA, 2010. p. 299-332.

GROOVER, Mikell P. **Robótica: tecnologia e programação**. McGraw-Hill, 1989.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; MCGAUGHEY, R. E. **A framework for supply chain performance measurement**. International journal of production economics, v. 87, n. 3, p. 333-347, 2004.

Taxonomia da Indústria 4.0: contribuições teóricas e práticas para um novo contexto - Patrick Mota, Ari Melo Mariano, Simão Borges Simão Monteiro

HEBER, A. **Business Insider**. Disponível em: <<http://www.businessinsider.com.au/chart-by-2020-theres-going-to-be-six-times-more-devices-connected-to-the-internet-than-people>>. Acesso em: 27 abril 2018.

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

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. **Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics**. Computers In Industry. Gallen, Suíça, p. 23-34. abr. 2017.

HOMPEL, M. T. et al. **Logistics and Supply Chain Innovation: Bridging the Gap between Theory and Practice**. Essen, Alemanha: Springer, 2016. 430 p.

HVOLBY, H.H.; TRIENEKENS, J. **Supply chain planning opportunities for small and medium sized companies**. Comput Ind 49:3-8, 2002.

KANG, H. S. et al. **Smart manufacturing**: Past research, present findings, and future directions. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.

JÚNIOR, J. P. B. **Big Data**: identificação dos fatores críticos de sucesso. 2015. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Economia e Gestão.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Frankfurt; Main: National Academy of Science and Engineering, 2013. Disponível em: Acesso em: 3 mar. 2016.

KHAN, S. **Leadership in the digital age**: A study on the effects of digitalisation on top management leadership. 2016.

KOHAVI, R.; ROTHLENDER, N.; SIMOUDIS, E. **Emerging Trends in Business Analytics**. Communications of the ACM, v. 45, n. 8, p. 45-48, 2002.

KRANENBURG, R.; ANZELMO, E.; BASSI, A.; CAPRIO, D.; DODSON, S.; RATTO, M. **The Internet of Things**. 1st Berlin Symposium on the Internet and Society. Outubro de 2011.

LAHLOU, S. **L'analyse lexicale**. Variances, n. 3, p. 13-24, 1994.

LAKATOS, E. M. MARCONI, M. A. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragem e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1996.

LAURINDO, F. J. B. et al. **O papel da tecnologia da informação (TI) na estratégia das organizações**. Gestão & Produção, v. 8, n. 2, p. 160-179, 2001.

LEE, C. W.; KWON, I.; SEVERANCE, D. **Relationship between supply chain performance and degree of linkage among supplier, internal integration and customer**, Supply Chain Management: An International Journal, v. 12, n. 6, p. 444-452, 2007.

LEE, H. L.; BILLINGTON, C. (1992) **Managing supply chain inventory**: pitfalls and opportunities. Sloan Management Review; Cambridge, Mass. Vol. 33.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. **Information distortion in a supply chain**: The bullwhip effect. Management science, v. 43, n. 4, p. 546-558, 1997.

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

MAIA, R. T. **A importância da disciplina de metodologia científica no desenvolvimento de produções acadêmicas de qualidade no nível superior**. Rev Urutágua, v. 14, n. 7, p. 1-8, 2008.

MANZINI, E. J. **Entrevista semi-estruturada**: análise de objetivos e de roteiros. Seminário internacional sobre pesquisa e estudos qualitativos, v. 2, p. 10, 2004.

Taxonomia da Indústria 4.0: contribuições teóricas e práticas para um novo contexto - Patrick Mota, Ari Melo Mariano, Simão Borges Simão Monteiro

MANZINI, E. J. **Uso da entrevista em dissertações e teses produzidas em um programa de pós-graduação em educação**. Revista Percurso, p. 149-171, 2012.

MARIANO, A. M. et al. **Meta Análises como Instrumento de Pesquisa**: Uma Revisão Sistemática da Bibliografia Aplicada ao Estudo das Alianças Estratégicas Internacionais. Congresso internacional de Administração: Gestão Estratégica: inovação colaborativa e competitividade (p. 12). Ponta Grossa: UEPG, 2011.

MARIANO, A. M.; ROCHA, M. S. **Revisão da Literatura**: Apresentação de uma Abordagem Integradora. In: AEDM International Conference—Economy, Business and Uncertainty: Ideas for a European and Mediterranean industrial policy. Reggio Calabria (Italia). 2017.

MASLARIĆ, M.; NIKOLIČIĆ, S.; MIRČETIĆ, D. **Logistics Response to the Industry 4.0**: the Physical Internet. Gruyter. Novi Sad, Servia, p. 511-517. ago. 2016.

MCCUMBER, John. **Information systems security**: A comprehensive model. In: Proceedings of the 14th National Computer Security Conference. National Institute of Standards and Technology, 1991.

MIGUEL.P; BRITO L. **Supply Chain Management measurement and its influence on Operational Performance** – 2009.

MONOSTORI, L. et al. **Cyber-physical systems in manufacturing**. CIRP Annals, v. 65, n. 2, p. 621-641, 2016.

MONTEIRO, A. e BEZERRA, A. L. B. **Vantagem competitiva em logística empresarial baseada em tecnologia de informação**. VI SEMINÁRIO EM ADMINISTRAÇÃO FEA/USP, v. 6, 2003.

MOURA, B. **Logística**: conceitos e tendências. Centro Atlantico, 2006.

NASCIMENTO, A.R.A.D. e MENANDRO, P.R.M., 2006. **Análise lexical e análise de conteúdo**: uma proposta de utilização conjugada. Estudos e pesquisas em Psicologia, 6(2), pp.72-88.

NAZÁRIO, P. **A importância de sistemas de informação para a competitividade logística**. Revista Tecnológica, São Paulo, ano, v. 5, 1999.

NEPOMUCENO, Carlos. **Logística empresarial**: uma ferramenta importante. 2016. Disponível em: <<http://iapeb.com.br/logistica-empresarial/>>. Acesso em: 05 maio. 2018.

NIST. **NIST Big Data Interoperability Framework**: Volume 1, Definitions. v. 1, p. 32, 2015.

NOVAES, A. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Elsevier Brasil, 2016.

O'BRIEN, J. A.; MARAKAS, G. M. **Administração de Sistemas de Informação**. New York City, USA: McGraw-Hill/Irwin, Bookman Editora, 2013.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de Metodologia Científica**. São Paulo: Pioneira, 1997.

PIOVESAN, A.; TEMPORINI, E. R. **Pesquisa exploratória**: procedimento metodológico para o estudo de fatores humanos no campo da saúde pública. Revista Saúde Pública, v. 29, n. 4, p. 318-25, 1995.

PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos** (Supply Chain Management): conceitos, estratégias e casos. São Paulo: Atlas, 2004.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**: guia PMBOK. 5. ed. EUA: Project Management Institute, 2013.

PROVOST, F.; FAWCETT, T. **Data Science for Business**: What you need to know about data mining and data-analytic thinking. " O'Reilly Media, Inc.", 2013.

Taxonomia da Indústria 4.0: contribuições teóricas e práticas para um novo contexto - Patrick Mota, Ari Melo Mariano, Simão Borges Simão Monteiro

RAMOS-RODRÍGUEZ, A. R.; RUÍZ-NAVARRO, J. **Changes in the intellectual structure of strategic management research: a bibliometric study of the strategic management journal, 1980-2000**. Strategic Management Journal, 25, 981-1004, 2004.

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

RATINAUD, P. IRAMUTEQ: Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires [Computer software]. Retrieved from <http://www.iramuteq.org>, 2009

REDEL, R.; HOUNSELL, M. da S. **Implementação de simuladores de robôs com o uso da tecnologia de realidade virtual**. In: IV Congresso Brasileiro de Computação, Itajaí-SC. IV CBCOMP. 2004. p. 398-401.

REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**. Editora Manole Ltda, 2003.

SANTOS, D. B. P.; BARBOSA, E. E. F.; **Manufatura digital no planejamento da automação da usinagem de componentes powertrain**. Blucher Engineering Proceedings, AUTOMOBILES, FIAT Chrysler. São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2015.

SANTOS, Maíra e MARIANO, Ari Melo. **Necessidades acessórias no processo de descomoditização: uma análise textual das reclamações sobre cápsulas de café Nespresso no Brasil**. 56º Congresso Sober: Transformações Recentes na Agropecuária Brasileira: Desafios em Gestão, Inovação, Sustentabilidade e Inclusão Social. 29 de julho a 1º de agosto, 2018

SCHMICK, F.; LÜDERS, N. O.; WOLLNACK, J. **Automated assembly of large CFRP structures: Adaptive filling of joining gaps with additive manufacturing**. In: Assembly and Manufacturing (ISAM), 2016 IEEE International Symposium on. IEEE, 2016. p. 126-132.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SENGE, P. M. **The fifth discipline: the art and practice of the learning organization**. 1990.

SERRA, F. R.; FERREIRA, M. P.; ALMEIDA, M. I. R.; VANZ, S. A. S. **A pesquisa em administração estratégica nos primeiros anos do século XXI: um estudo bibliométrico de citação e cocitação no strategic management journal entre 2001 e 2007**. Revista eletrônica de estratégia e negócios, 5(2), 257-274, 2012.

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

SILVEIRA, C. B.; LOPES, G. C. **O que é Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. 2016. Disponível em: . Acesso em: 25 abr. 2017.

SINGER, T. **Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas**. Simpósio em tecnologias digitais e sociabilidade, v. 2, p. 1-15, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSON, R. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMIRNOV, A. et al. **Knowledge source network conFiguration approach to knowledge logistics**. International Journal of General Systems, v. 32, n. 3, p. 251-269, 2003.

SMIT, J., KREUTZER, S., MOELLER, C., CARLBERG, M. **Industry 4.0**, Study for the ITRE Committee, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, European Parliament, Brussels, 2016.

SZTIPANOVITS, J. et al. **Toward a science of cyber-physical system integration**. Proceedings of the IEEE, v.100, n. 1, p. 29-44, 2011.

TESCH, R. **Qualitative research: analysis, types and software tools**. New York: The Falmer Press, 1990.

TURBAN, E. et al. **Business Intelligence**: um enfoque gerencial para a inteligência do negócio. Bookman Editora, 2009.

WAN, J. F. et al. **Advances in Cyber-Physical Systems Research**. Ksii Transactions on Internet and Information Systems, v. 5, n. 11, p. 1891-1908, Nov 2011.

WANG, S. et al. **Implementing smart factory of industrie 4.0**: an outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.

WANG, G.; HUANG, S. H.; DISMUKESA, J. P. **Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology**. International Journal of Production Economics, v. 91, p. 1-15, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**. Gulf Professional Publishing, 2004.

WU, Ye- chun Jim et al. **Global logistics management curriculum**: perspective from practitioners in Taiwan. Supply Chain Management: An International Journal. Taiwan, p. 376-388. fev. 2013.

ZAWADZKI, P.; ŻYWICKI, K. **Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept**. Management and Production Engineering Review, v. 7, n. 3, p. 105-112, 2016.