Fundação Pedro Leopoldo
Mestrado Profissional em Administração

A Quarta Revolução Industrial – a Indústria 4.0 pela visão da liderança da VALE S/A. de Minas Gerais ao Espírito Santo: um estudo de caso

Kleuber Aparecido Oliveira Silva

Pedro Leopoldo
2019

KLEUBER APARECIDO OLIVEIRA SILVA

A Quarta Revolução Industrial – a Indústria 4.0 pela visão da liderança da VALE S/A. de Minas Gerais ao Espírito Santo: um estudo de caso

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Administração da Fundação Pedro Leopoldo Educacional, como requisito parcial ao título de Mestre.

Área de concentração: Gestão em organizações.

Linha de pesquisa: Inovação e Organizações.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Tadeu de Ramos Neves.

Pedro Leopoldo

Fundação Pedro Leopoldo

2019

658.40638 SILVA, Kleuber Aparecido Oliveira
S586r A Quarta Revolução Industrial: a Indústria 4.0 pela visão da liderança da VALE S/A. de Minas Gerais ao Espírito Santo, um estudo de caso / Kleuber Aparecido Oliveira Silva.
- Pedro Leopoldo: FPL, 2019.
99 p.

Dissertação Mestrado Profissional em Administração. Fundação Cultural Dr. Pedro Leopoldo – FPL, Pedro Leopoldo, 2019.
Orientador: Prof. Dr. Jorge Tadeu de Ramos Neves

1. Indústria 4.0.
2. Tecnologias da Indústria 4.0.
3. Inovação.
I. NEVES, Jorge Tadeu de Ramos, orient. II. Título.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Ficha Catalográfica elaborada por Maria Luiza Diniz Ferreira – CRB6-1590

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: "**A 4ª Revolução industrial – A Indústria 4.0 pela visão da liderança da VALE S/A de Minas Gerais ao Espírito Santo: um estudo de caso**".

Nome do Aluno: **KLEUBER APARECIDO OLIVEIRA SILVA**

Dissertação de mestrado, modalidade Profissionalizante, defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Faculdade Pedro Leopoldo, aprovada pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Jorge Tadeu de Ramos Neves – FPL Educacional - Orientador

Profa. Dra. Maria Celeste Reis Lobo de Vasconcelos - FPL Educacional.

Profa. Dra. Thaís de Fátima Araújo Silva – Instituto Ensinar Brasil

Pedro Leopoldo (MG), 18 de junho de 2019.

Para a minha mulher, Dircilene,
por acreditar junto comigo que o conhecimento melhora a vida das pessoas.

Para meu filho, Áureo,
pelos momentos em que abri mão de nossas conversas para dedicar a este projeto.
Agora nossos bate papos estão de volta.

Para minha filha, Clara,
pelos abraços matinais, todas as vezes em que estava escrevendo esta dissertação.

Para os meus pais e irmãos,
que juntos oram por mim e sempre torcem para que tudo dê certo.

Agradecimentos

Ao Professor Dr. Jorge Tadeu de Ramos Neves, pela amizade, serenidade e a demonstração de que capital intelectual e humildade andam juntos. Sou seu fã.

Á Professora Drª. Maria Celeste Vasconcelos, por ter me instigado a descobrir este tema e incentivar minhas apresentações malucas, mesmo quando elas saíam do comum.

Ao Professor Dr. Frederico Mafra, que me incentivou no tema, fazendo questionamentos que incomodavam meu coração, mas alimentavam meu cérebro com novos *insights* cada vez mais inovadores.

A todos os professores do Mestrado Profissional em Administração (MPA) Pedro Leopoldo, vocês são exemplos de que o nosso país pode dar certo a partir da difusão de educação de qualidade.

À Jussara, profissional diferenciada. Você faz parte do grupo de professores da vida.

Aos profissionais de Recursos Humanos da Vale S/A., em especial a Núbia Ferreira e Fabiana Nicodemos, que compraram a ideia de desenvolvimento da liderança para um novo mundo.

Aos amigos Luciano Reis, de Itabira, e André Souto, de Ipatinga, pelas caronas intelectuais. O sucesso de vocês é o meu sucesso. Contem comigo sempre!!!

Aos líderes que trabalham junto comigo e entraram nessa viagem rumo à Indústria 4.0. Depois de três anos estamos três anos na frente de muita gente.

A Deus, pela sabedoria, serenidade e energia para vencer os desafios.

Resumo

O presente trabalho analisou se os líderes da Mineradora Vale S/A., localizados entre o estado de Minas Gerais e Espírito Santo, conhecem e estão propensos a adotar inovações e tecnologias provenientes da Quarta Revolução Industrial. Para a abrangência dessa possibilidade foram abordadas a evolução das Revoluções Industriais ocorridas no mundo, as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e a inovação no setor no tocante à decisão da liderança pertinente ao tema. A metodologia utilizada foi estudo de caso, sendo o instrumento de pesquisa um questionário semiestruturado e uma análise em conjunto com a área de Recursos Humanos da empresa. Para o estudo, foram entrevistados 3% de líderes da hierarquia organizacional. Os resultados encontrados revelaram grandes oportunidades de avanços no conhecimento do tema e a sua aplicação em conjunto com os conceitos de inovação dentro de um processo decisório estruturado. O estudo ainda apresenta ações realizadas provenientes do resultado da pesquisa.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Tecnologias da Indústria 4.0. Inovação.

Abstract

The present research analyzed if a big miner´s leadership brazilian located between Minas Gerais and Espirito Santo states, know about technologies and innovations coming wiht Fourth Industrial Revolution and still want embrace it. To check this possibility were addressed the evolution of the Industrial Revolutions during the ages, the enablers Technologies, according Brazil Institute (CNI), to Industry 4.0 and the innovation in the department as leadership decision. The methodology used was a case study through survey instrument togheter with a discussion among HR professionals of the organization In addition were interviewed 3% of organizational leadership. The outcomes show great opportunities to enhance de knowledge about the theme ant its application together innovation concepts inside the organization. The study also presentes actions implemented according research suggestions.

Keywords: Industry 4.0. Industry 4.0 Technologies. Innovation.

Lista de Abreviaturas e Siglas

3D – Tridimensional

AMP – *Advanced Manufacturing Partnership*

CART – *Classification and Regression Trees*

CBA – Companhia Brasileira do Alumínio

CEO – *Chief Executive Officer*

CN – Controle numérico

CNC – Controle Numérico Computadorizado

CNI – Confederação Nacional das Indústrias

COPIN – Conselho Temático Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico

CPG – *Consumer Package Goods*

CPS – *Cyber Physical System*

CBA – Companhia Brasileira do Alumínio

DNPM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral

EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas

FDM – *Fused Depostion Modelin*

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

GE – *General Electric*

GTAI – *Germay Trade & Invest*

IaaS – *Infrastructure as a Service*

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Enginners*

IHM – Inteface homem-máquina

IMI – *Innovative Manufacturing Institutes*

IoT – *Internet of Things*

ISO – *International Organization for Standardization*

ITV – Instituto Tecnológico Vale

LASER – *Light amplification by stimulated emission of radiation*

LENS – *Laser Engineering net shaping*

LOM – *Laminated Object Manufacturing*

MJP – *Multijet Print*

NLP – *Natural Language Processing*

NNMI – *National Networking for Manufacturing Innovation*

PaaS – *Platform as a Service*

PCAST – *President´s Council of Advisors on Science na Technology*

PIB – Produto Interno Bruto

RH – Recursos Humanos

RIA – *Robotics Industries Association*

SaaS – *Software as a Service*

Sebrae – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SGC – *Solid Ground Curing*

SLA – *Stereolithography*

SLS – *Selective Laser Sintering*

TI – Tecnologia de informação

Unicamp – Universidade de Campinas

USGS – *United States Geological Survey*

VANT – Veículo autônomo não tripulado

WEF – Fórum Econômico Mundial

Lista de Figuras

Figura 1 - Produção de minerais no Brasil, com destaque para o minério de ferro..... 19
Figura 2 - Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais..... 20
Figura 3 - Fases financeiras da Vale S.A..... 22
Figura 4 - Minas da Vale em Minas Gerais, por Complexo..... 23
Figura 5 - Hierarquia de liderança da Vale S.A..... 24
Figura 6 - Evolução exponencial do mercado de algodão na Inglaterra 1760-1815..... 26
Figura 7 - Preços médios anuais de novos computadores, 1955-1987..... 28
Figura 8 - Utilização das tecnologias da Indústria 4.0 pelas empresas brasileiras..... 33
Figura 9 - Conhecimento das empresas das tecnologias da Indústria 4.0..... 33
Figura 10 - Rim, orelha e osso do dedo gerado por manufatura aditiva..... 34
Figura 11 - Evolução da Internet das coisas até 2020, de CISCO IBGS (2011) 35
Figura 12 - Aplicações da Internet das Coisas..... 37
Figura 13 - Indústrias e seu uso do *Big Data*..... 39
Figura 14 - Computação em nuvem..... 41
Figura 15 - O que mais preocupa as pessoas com o avanço das tecnologias robóticas..... 43
Figura 16 - Tendências de oportunidades de empregos em tarefas de rotina ou não rotina..... 44
Figura 17 - Técnica CART de inteligência artificial..... 46
Figura 18 - Técnica Fuzzy de inteligência artificial..... 47
Figura 19 - Técnica redes neurais de inteligência artificial..... 48
Figura 20 - Monitoramento dinâmico de pontes e viadutos por meio do uso de fibras óticas..... 50
Figura 21 - Material piezelétrico simulando os movimentos humanos em Robótica..... 51
Figura 22 - Grafeno, o material do futuro..... 52
Figura 23 - Instalação de peça fabricada em 3D em um VANT da Marinha Americana..... 54

Figura 24 - Rim, orelha e osso do dedo gerado por manufatura aditiva..... 55
Figura 25 - Processo decisório racional..... 57
Figura 26 - Processo decisório processual..... 57
Figura 27 - Processo decisório anárquico..... 58
Figura 28 - Processo decisório político..... 59
Figura 29 - Fases da gestão da inovação, por Hansen e Birkinshaw..... 61
Figura 30 - Fases da gestão da inovação, por Tidd e Bessant..... 61
Figura 31 - Nuvem de palavras com os países precursores da Indústria 4.0... 70
Figura 32 - Tipo de inovação na unidade de análise..... 72
Figura 33 - Aderência a novas tecnologias desconhecidas..... 77
Figura 34 - Você considera sua empresa inovadora?..... 80
Figura 35 - Interface entre área operacional e área de inovação..... 81

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resumo da base analítica do referencial teórico..... 64

Tabela 2 - Objetivos, referencial teórico e instrumentos de pesquisa..... 68

Tabela 3 - Sequência percorrida por uma ideia gerada na unidade de análise. 79

Sumário[1]

1 Introdução 14

1.1 Questão norteadora da pesquisa 16

1.2 Objetivos 17

1.2.1 Objetivo geral 17

1.2.2 Objetivos específicos 17

1.3 Justificativas 17

2 A Mineração em Minas Gerais 19

3 Referencial Teórico 25

3.1 Das revoluções industriais até a Indústria 4.0 25

3.2 As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 34

3.2.1 Internet das coisas (IoT) 35

3.2.2 Big Data 37

3.2.3 Computação na nuvem 40

3.2.4 Robótica avançada 42

3.2.5 Inteligência artificial 44

3.2.6 Novos materiais e materiais inteligentes 49

[1] Este trabalho foi revisado de acordo com as novas regras ortográficas aprovadas pelo Acordo Ortográfico assinado entre os países que integram a Comunidade de Países de Língua Portuguesa (CPLP), em vigor no Brasil desde 2009. E foi formatado de acordo com as Instruções para Formatação de Trabalhos Acadêmicos – Norma APA, 2017.

3.2.7 Manufatura aditiva..... 52
3.3 O processo de tomada de decisão em cenário de incerteza..... 55
3.4 A inovação no contexto da Indústria 4.0..... 59
3.5 Contribuições do referencial teórico..... 62

4 Metodologia..... 65
4.1 Classificação da pesquisa..... 65
4.2 A modalidade da pesquisa: qualitativa e estudo de caso..... 66
4.3 Unidade de análise e sujeitos de pesquisa..... 66
4.4 Técnicas de análise e coleta de dados..... 67
5 Apresentação e Análise dos Resultados..... 69
5.1 Conceituação e difusão da Indústria 4.0 na unidade de análise..... 69
5.2 Como os líderes decidem no cenário de mudança da Quarta Revolução Industrial..... 73
5.3 Os atores e a estrutura administrativa para a inovação na empresa... 77

6 Considerações Finais e Recomendações..... 82
6.1 Resultados..... 82
6.2 Limitações da pesquisa..... 85
6.3 Sugestões para pesquisas futuras..... 86

Referências..... 87

Apêndice A..... 96

1 Introdução

O acelerado ritmo de mudanças no mundo atual proporciona novos desafios que remetem à necessidade da busca pela compreensão desses fatos e consequente criação de novos direcionares para as soluções dos problemas. Nesse cenário observa-se o início de uma ruptura nas organizações, já conhecida como a Quarta Revolução Industrial, que poderá alterar o modo como se vive e se trabalha (Schwab, 2016). Essa mudança, do ponto de vista industrial, projeta novo patamar de produção tecnológica, proporcionando redução de complexidade a partir da simplificação de processos pela adoção de novos métodos sem a interferência humana (Brauner, Holzinger, Schaar, Valdez, & Ziefle, 2015).

Diferentemente das revoluções industriais anteriores, que levaram algum tempo para se estabelecer, a Quarta Revolução Industrial caracteriza-se por três principais aspectos: a velocidade exponencial e não linear de sua propagação no mundo; a amplitude e profundidade de suas transformações, que modificam não somente o que, mas como as coisas serão feitas e o impacto sistêmico de suas mudanças que envolvem sistemas inteiros e países (Schwab, 2016).

A preocupação dos gestores com a redução de custos para sobreviver em um mercado cada vez mais competitivo é necessária; todavia, deve-se pensar também nas consequências sociais das reduções de mão de obra, mudanças de processos e até o desaparecimento de muitas profissões e o surgimento de tantas outras. Isso denota a necessidade de estabelecer formas de transição para os novos métodos produtivos dentro de um planejamento de mitigação dos cenários criados (Brettel, Friederichsen, Keller & Rosenberg, 2014).

Toda evolução leva a momentos de incertezas, desconfortos e até mesmo crises; não foi diferente nas chamadas Primeira, Segunda ou Terceira Revoluções Industriais. Primeiro, a descrença, depois o susto e, por fim, a insurgência são fases comuns e transitórias que ocorrem em toda revolução que muda a forma do mundo pensar. A grande diferença da Quarta Revolução Industrial é a inserção de máquinas cada vez mais inteligentes, inclusive com capacidade de tomar sozinhas suas decisões no mercado, de forma a reproduzir um novo cenário de mistérios e oportunidades a ser explorado e construído pelos líderes do presente e do futuro.

Datam de 2011, na Alemanha, as primeiras iniciativas voltadas para a Indústria 4.0, desde que, na Feira de Hannover, os congressistas cunharam esse termo para

direcionar as ações e políticas do setor industrial introduzidas no contexto da Quarta Revolução Industrial. Vale ressaltar que a Indústria 4.0 está inserida na Quarta Revolução Industrial, apesar da possibilidade de se confundir os dois termos como sendo a mesma coisa. E nessa corrida pelo nivelamento mundial das tecnologias, os Estados Unidos, China, França, entre outros, estabeleceram seus programas governamentais para entrarem nessa nova forma de inovação.

No panorama industrial brasileiro, os primeiros movimentos em busca de entender todo esse cenário global de mudança desse setor são advindos dos desafios da Indústria 4.0 no Brasil (Confederação Nacional da Indústria - CNI, 2016b), que entende a importância da digitalização a partir do emprego da Internet, permitindo a comunicação entre um número ilimitado de dispositivos. Esse processo permeia a economia e impacta em múltiplas transformações econômicas e sociais.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) estabelece sete tecnologias habilitadoras, como um guia para as empresas se nortearem em busca do desenvolvimento, sendo elas: Internet das coisas, *Big Data*, inteligência artificial, Robótica Avançada, computação na nuvem, novos materiais/materiais inteligentes e manufatura aditiva.

Igualmente, existe no ambiente industrial a busca do entendimento do contexto das mudanças impelidas a esse setor e, consequentemente, a busca de adequação à Indústria 4.0. No entanto, percebe-se que a indústria de transformação tem sido o carro-chefe nas propostas da Indústria 4.0, com suas aplicações nas indústrias de fabricação de automóveis, de cosméticos e de alimentos.

Na cadeia de produção é comum que as mudanças iniciem na indústria de transformação para a indústria extrativista. E nesta última, a indústria de mineração tem relevante importância para a análise das transformações proporcionadas pela Indústria 4.0.

O Produto Interno Brasileiro (PIB) brasileiro é composto de aproximadamente 5% (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Sebrae, 2017) pela indústria de mineração, sendo que a Vale S/A. é responsável por 84,52% da produção do minério de ferro extraído em solo brasileiro (Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2017).

A Vale S/A. foi fundada como Companhia Vale do Rio Doce, em Itabira-MG, no dia 02 de junho de 1942. Considerada uma grande multinacional brasileira, passou por um processo de privatização no ano de 1996 e hoje possui cerca de 139.000

empregados atuando em 37 países, tendo em seu portfólio como principais produtos a produção de minério de ferro, cobre, níquel carvão e fertilizantes (Vale, 2016).

E a Vale não é diferente de outras organizações quanto à necessidade das pessoas, para que os resultados sejam atingidos e as mudanças sejam colocadas em curso. E são justamente as pessoas que aceleram ou não essas mudanças. E qualquer adoção às mudanças parte principalmente do comportamento dos líderes que irão influenciar a massa dentro de uma organização na busca do objetivo comum. A investigação do conhecimento dos conceitos, por parte da liderança, assim como as formas como esta toma as decisões no processo de mudança, e a influência dos atores envolvidos em todo esse processo que de novo ainda se apresenta como inovador constituem objeto de pesquisa para a formação de conteúdo norteador para a implantação da Indústria 4.0 em qualquer tipo de organização.

No entanto, a busca para entender como ocorre o processo de adoção de novas tecnologias e a propensão a se adequar às inovações incrementais, semiradicais e radicais inerentes à Indústria 4.0 fazem com que se torne necessária uma pesquisa para entender a inovação da Vale S/A. em suas unidades de negócio de ferro em Minas Gerais e Espírito Santo e como a liderança toma decisões referentes a este tema.

1.1 Questão norteadora de pesquisa

Com base no exposto e considerando a necessidade de se investigar esse tema de fronteira, partindo do princípio de que qualquer mudança é fomentada a partir do momento em que os líderes de uma organização conhecem e aplicam o seu conhecimento, é que surge o questionamento a ser respondido por esta pesquisa, na forma da seguinte pergunta: qual o nível de conhecimento dos conceitos da Indústria 4.0, bem como a propensão da liderança do negócio de minério de ferro da Vale S/A., nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, a adotar as tecnologias inerentes à Quarta Revolução Industrial?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar se os líderes conhecem e estão propensos a adotar inovações e tecnologias provenientes da Quarta Revolução Industrial no negócio de produção de minério de ferro da Vale S/A. no Corredor Sudeste, de Minas Gerais até o Espírito Santo.

1.2.2 Objetivos específicos

a) Identificar se os líderes da empresa conhecem temas propostos na Quarta Revolução Industrial e sua difusão no âmbito da organização.
b) Indicar padrões adotados nas decisões dos líderes da organização na propensão à incorporação de inovações e tecnologias.
c) Relatar as possíveis relações entre os atores envolvidos e o funcionamento da estrutura administrativa para a incorporação de inovações e tecnologias.

1.3 Justificativas

A pesquisa justifica-se pela necessidade de se criar ambiente para discussão do tema Quarta Revolução Industrial. Muito se tem falado sobre a Indústria 4.0 nos meios industriais e plataformas especializadas. Contudo, o tema ainda é pouco discutido no meio acadêmico brasileiro, onde se destaca a sondagem especial da Indústria 4.0 realizada em 2016 pela CNI (2016a). Percebe-se que o uso de tecnologias digitais na indústria brasileira é pouco difundido, o que coloca em risco a competitividade da indústria nacional.

Da mesma forma, esta pesquisa, a partir do seu conteúdo teórico, poderá contribuir para um ambiente mais rico de debate dos impactos econômicos, estratégicos, produtivos e sociais da implantação da Indústria 4.0 a partir de melhor conhecimento sobre os impactos da Quarta Revolução Industrial. Poderá, também, com base em pesquisa em uma grande mineradora multinacional brasileira, demonstrar as possíveis soluções para enfrentar e se adequar a essa nova ruptura por meio de modelos, conceitos e soluções que podem ser replicados em toda a cadeia na indústria nacional. Toda pesquisa gera conhecimento. E a disseminação desse conhecimento faz com que ocorram os avanços necessários para a evolução da competitividade das organizações que possuem a capacidade de entender o

contexto e aplicar as soluções aprovadas cientificamente. Um laboratório como este, onde os líderes irão expor suas visões, pode gerar novas ideias e correlações e contribuir para o conhecimento científico aplicado a vários outros negócios e setores, os quais poderão se beneficiar do bônus de uma discussão pronta para ser absorvida.

Igualmente, todos os meios (acadêmicos, industriais e sociais) precisam conhecer o tema e identificar nele as oportunidades para fazer uma indústria, uma escola e um país melhor, sendo que as melhores oportunidades estão nos campos que ainda estão poucos explorados. O meio acadêmico pode contribuir muito para o tema por intermédio de teses de doutorado, dissertações de mestrados e trabalhos de conclusões de cursos; as indústrias, por meio da cessão de espaço para pesquisas, bem como aplicações das novas tecnologias para aceleração de destes e de novos desenvolvimentos; e a sociedade, no campo da discussão em torno do tema que gere novos problemas em busca de soluções que possam ser desenvolvidas nesse contexto.

No âmbito pessoal, esta pesquisa pode se transformar em uma fonte de conhecimento que se constituirá em diferencial competitivo e empregabilidade para o pesquisador, assim como uma forma de difundir esse conhecimento por todos os meios frequentados e debates proporcionados. O intuito é poder se tornar uma força colaboradora do desenvolvimento do tema no Brasil, pela capacidade de exploração das potencialidades do país, uma vez que os investimentos são feitos por todas as indústrias, mas eles não podem ser mais incrementais. Estes devem promover aumentos substanciais de segurança do trabalho, aumento de produtividade das atividades, bem como geração de receita para a sobrevivência e crescimento da organização.

2 A Mineração em Minas Gerais

Com o intuito de analisar como os líderes conceituam e se estão propensos à adoção das inovações e tecnologias provenientes da Quarta Revolução Industrial em um segmento da indústria brasileira, torna-se importante contextualizar que esta está dividida em três atividades que englobam todos os setores, sendo elas: indústria extrativa, indústria de transformação e indústria da construção (CNI, 2018).

Sendo a indústria extrativa objeto deste estudo, é importante salientar que o Brasil produz 70 diferentes tipos de bens minerais, sendo 21 do grupo de minerais metálicos, 45 dos não metálicos e quatro energéticos, com destaque para a produção do minério de ferro apresentado na Figura 1 (Barreto, 2001, p. 12).

Substância	Quantidade (ROM)		Contido		Teor Médio		
Ferro	**559.508.816**	**t**	**307.037.905**	**t**	**54,88**	**%**	**Fe**
Minas Gerais	385.462.807	t	196.499.687	t	50,98	%	Fe
Pará	164.545.615	t	107.197.571	t	65,15	%	Fe
Mato Grosso do Sul	4.864.338	t	2.964.870	t	60,95	%	Fe
São Paulo [2]	4.524.369	t	316.706	t	7,00	%	Fe
Bahia	70.474	t	36.557	t	51,87	%	Fe
Goiás	24.023	t	13.693	t	57,00	%	Fe
Rio Grande do Norte	7.144	t	2.571	t	36,00	%	Fe
Amazonas	4.642	t	3.249	t	70,00	%	Fe
Ceará	3.406	t	2.102	t	61,71	%	Fe
Amapá	2.000	t	900	t	45,00	%	Fe

Figura 1
Produção de minerais no Brasil, com destaque para o minério de ferro.
Fonte: DNPM (2017). Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. *Anuário Mineral 2017*. Série e estatísticas. Recuperado de http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017.

Entre os minerais metálicos, o minério de ferro tem importante representatividade na economia brasileira, sendo que as reservas mundiais de minério de ferro são da ordem de 190 bilhões de toneladas. As reservas brasileiras participam com 31 bilhões de toneladas desse total. Os principais estados produtores são Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul, sendo que o primeiro produz 70% do total nacional e o segundo 27%. A produção brasileira representa 10% da produção mundial (*United States Geological Survey* - USGS, 2015).

Em Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero, apresentado na Figura 2, sempre foi a principal província produtora de minério de ferro do Brasil, destacando-se durante

anos como uma região produtora de minério com alto teor de ferro e baixo teor de contaminantes, cenário que modificou com a exaustão dos minérios de alto de teor e a entrada de minérios com menos qualidade. A exigência dos clientes transoceânicos para que a entrega da qualidade do minério permanecesse a mesma fez evoluir tecnologias em máquinas e processos para a transformação de uma extração de baixa qualidade para uma entrega de alta qualidade (Omachi, 2015).

Figura 2
Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais.
Fonte: Barreto (2001). *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT (215 p.).

O Quadrilátero Ferrífero ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km^2 e está localizado na região centro-sudeste do estado de Minas Gerais. Esse nome foi dado devido ao arranjo geométrico de sua morfoestrutura e utilizado pela primeira vez pelo geólogo Luiz Flores de Moraes Rego para definir essa área de vasto depósito de

minérios de ferro de uma das áreas clássicas da geologia pré-cambriana do mundo (Dorr, 1959; Machado, 2009).

No Quadrilátero Ferrífero operam diversas empresas de bens minerais, sendo as principais: Vale, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), *AngloGold Ashanti*, Samarco, Usiminas Mineração, Votorantim, ArcelorMittal, Companhia Brasileira do Alumínio (CBA) e *Jaguar Mining* (IBRAM, 2014).

A Vale S/A. é uma empresa brasileira multinacional, que ocupar o 7º lugar entre as maiores empresas do Brasil e o 559º lugar entre os 2.000 gigantes globais (Exame, 2017).

Criada em 1942, no governo de Getúlio Vargas, os principais objetivos da Vale S/A. eram a exploração e o abastecimento de minério de ferro para a Companhia Siderúrgica Nacional. Contudo, o contexto da Segunda Guerra Mundial criava o aumento da demanda de minério de ferro no mundo e levava essa empresa brasileira a atingir um viés de exportadora. Um grande diferencial competitivo da empresa foi o controle da cadeia completa de produção, sendo controladora de suas minas, ferrovias e portos (Vale S/A., 2016).

A empresa passou por três fases financeiras e produtivas durante a sua vida, sendo a primeira o período privatizado com o domínio completo de suas ações pelo Governo Federal. No período pré-privatização, em 1995, a empresa teve receita bruta de US$ 2,9 bilhões e possuía capacidade de produção em torno de 100 milhões de toneladas de minério de ferro e possuía suas operações concentradas em Minas Gerais e no Pará (Pinheiro, 1996).

Em sua segunda fase, a empresa passou de uma empresa exportadora com operações de mineração concentrada no Brasil para uma empresa com operações diversificadas em países diferentes. Além disso, a partir de 1996 deixou de ser estatal e passou a ser privatizada, com capital aberto, porém, com o controle definido por um grupo com a presença do governo, atingiu em 2015 a produção de 346 milhões de toneladas de minério de ferro, com receita bruta de US$ 25,6 bilhões (Vale S/A., 2016).

Já na terceira fase, a empresa passou a ser uma corporação, termo que define o *status* de uma organização que não possui um controlador e possui suas ações totalmente abertas no novo modelo de governança almejada pelo Novo Mercado. Com isso, o governo deixou de ter o controle, uma nova estrutura acionária ocorreu, assim como um novo Estatuto Social. Essa fase foi aprovada e concluída em setembro de 2017 (Vale S/A., 2017a). Essas três fases são demonstradas na Figura 3.

Figura 3
Fases financeiras da Vale S/A.
Fonte: Vale S/A. (2017b). *Sobre a Vale*. Recuperado de: http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/saiba-mais-atuacao-vale-minas-Gerais.aspx. Adaptada pelo autor.

O negócio de minério de ferro da Vale S/A. no estado de Minas Gerais é baseado em quatro complexos, sendo eles: Complexo Itabira, localizado em Itabira-MG.; Complexo Mariana-Brucutu, localizado nas cidades de Mariana-MG. e São Gonçalo do Rio Abaixo-MG.; Complexo Vargem Grande, localizado em Itabirito-MG.; e Complexo Paraopeba, localizado em Nova Lima-MG. Estes são compostos de 17 minas, conforme apresentado na Figura 4**,** responsáveis por metade da produção de minério de ferro da Vale S/A. no Brasil (Vale S/A., 2017b).

Figura 4

Minas da Vale em Minas Gerais, por Complexo.
Fonte: Vale S/A. (2017b). *Sobre a Vale*. Recuperado de: http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/saiba-mais-atuacao-vale-minas-Gerais.aspx.Adaptada pelo autor.

A estrutura organizacional de liderança da Vale é constituída da seguinte forma: *Chief Executive Officer* (CEO), Diretor Executivo, Diretor Operacional, Gerente Executivo, Gerente e Supervisores, conforme Figura 5 (Vale S/A., 2017b).

O quantitativo dessa hierarquia, que será foco de estudo na unidade de análise, é composto da seguinte forma:

a) CEO – 1;
b) Diretor Executivo – 1;
c) Diretor Operacional – 1;
d) Gerente Executivo – 9;
e) Gerente – 86;
f) Supervisores – 655.

Figura 5 – Hieraquia de liderança da Vale S.A
Fonte: Vale S.A (2017a). Adaptado pelo autor

Figura 5
Hierarquia de liderança da Vale S/A.
Fonte: Vale S/A. (2017b). *Sobre a Vale*. Recuperado de: http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/saiba-mais-atuacao-vale-minas-Gerais.aspx. Adaptada pelo autor.

Como em qualquer organização, a liderança possui papel fundamental para o entendimento, adoção e implantação de mudanças em qualquer área, sendo que a influência de vários fatores políticos, econômicos, sociais, culturais, entre outros, influenciam diretamente nas decisões tomadas por esses atores, bem como os rumos que eles darão ao negócio da empresa (Lacombe, 2009, p. 291).

3 Referencial Teórico

O presente capítulo apresenta os temas nos quais se baseia a pesquisa proposta e se divide em cinco partes. A primeira faz uma revisão histórica das revoluções industriais ocorridas no mundo até desembarcar na atual Quarta Revolução Industrial, inclusive na segunda parte, relatando as tecnologias habilitadoras dessa nova era. A terceira parte busca o embasamento teórico sobre inovação no contexto da Indústria 4.0 e a quarta parte descreve conceitos para a tomada de decisão em processos organizacionais, focado na inovação e impactos das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. A quinta parte discorre sobre o marco teórico da pesquisa.

3.1 Das revoluções industriais até a Indústria 4.0

Duas profundas mudanças na base da economia e estrutura social do mundo formam ainda hoje o alicerce de toda uma evolução das sociedades básicas, sendo a primeira baseada na transição da sociedade primitiva para a sociedade agrícola e a segunda delineada na passagem da sociedade agrícola para a sociedade industrial (Crawford, 1994, p. 19).

A sociedade primitiva, da barbárie até os princípios da civilização, desenvolveu sua capacidade de subsistência por uma série de artes sucessivas, além de invenções e descobertas que levaram à arquitetura de habitação, formando lentamente a ideia de propriedade (Morgan, 1877).

Essa ideia de propriedade permeou a principal característica da sociedade agrícola, na qual o homem almejava ser o proprietário de uma plantação ou de uma mina. O capital estava no domínio da terra (Crawford, 1994, p. 20).

Contudo, o aumento do consumo da sociedade desencadeou um novo método para o aumento da produtividade no campo, sendo a inserção de adubo associada à implantação de máquinas o principal fator para a revolução agrícola inglesa do século XVI e os primeiros indícios da transição para uma era industrial (Overton, 2004, p. 2).

As transformações industriais iniciaram-se no mundo com a Primeira Revolução Industrial (Albornoz, 1992), com Adam Smith idealizando o liberalismo econômico e as máquinas a vapor, mecanizando as atividades laborais e segmentando as tarefas especializadas.

Pode-se afirmar que o fato existia antes do termo, já que a percepção de que um movimento radical que mudava a economia mundial iniciado nos anos de 1780 só foi batizado, pela sociedade, como Revolução Industrial em 1820 (Hobsbawn, 1977).

O termo partida foi utilizado para determinar a Primeira Revolução Industrial, sendo que a política expansionista inglesa, com base no exponencial aumento de exportação de algodão, como apresentado na Figura 6, proporcionado pelas inovadoras tecnologias implantadas de mecanização, teve seu ápice na construção de grandes indústrias e ferrovias entre 1780 e 1840 (Hobsbawn, 1977).

Figura 6
Evolução exponencial do mercado de algodão na Inglaterra, 1760-1815.
Fonte: Hobsbawn, E. J. (1977). A Revolução Industrial. *In*: E. J. Hobsbawan. *A era das revoluções – 1789-1848* (33. ed., pp. 70-122, cap. 2). São Paulo: Paz e Terra.

A máquina a vapor, inventada por James Watts em 1784, simboliza a transição da sociedade agrícola para a sociedade industrial, a partir de um instrumento predominantemente crítico e científico, baseado em inovações essenciais de experimentos realizados por vários outros cientistas da época. Não obstante sua utilização na indústria da mineração, a crescente expansão marítima do mercado de algodão rapidamente levou essa invenção para os teares das indústrias têxteis e, consequentemente, para as indústrias de alimentos, bebidas e cerâmicas (Usher, 1941).

O rápido crescimento industrial, porém, fez disparar a diferença entre ricos e pobres, criando miséria e descontentamento, ingredientes para uma revolução social, cujos empregados quebravam máquinas como represália à concorrência desleal aos seus empregos (Hobsbawn, 1977).

Já a Segunda Revolução Industrial foi ancorada na descoberta da eletricidade (De Masi, 1999), proporcionando melhores condições de trabalho para as pessoas e mais produtividade para as empresas.

No entanto, mesmo sendo a eletricidade o grande impulsionador da Segunda Revolução Industrial, outra característica importante a ser considerada, no período

entre 1870 e 1914, foi a dispersão geográfica do desenvolvimento, não estando este mais concentrado somente na Inglaterra (Mokyr, 1998a).

A indústria química passava a ser liderada pela Alemanha, com importantes inventos, como a soda e dinamite (Haber, 1958). Os Estados Unidos consolidavam, pelo código Morse, a transmissão elétrica de longa distância e, com isso, inventores como Edison e Westinghouse descobriram e definiram a utilização de tecnologias elétricas em rede (Hughes, 1983, pp. 25-27). A Inglaterra mudava o patamar nos transportes ferroviários a partir da evolução das locomotivas a vapor para as locomotivas a diesel, proporcionado pelo invento do motor a combustão a diesel pelo inglês Rudolf Diesel (Bryant, 1967). Enquanto isso, a França elevava os níveis de produção agrícola, antes dominados pela Inglaterra, com o emprego de fertilizantes, influenciando ao mesmo tempo a qualidade dos alimentos servidos à população pelo uso de conservas, inventado por Louis Pasteur (Mokyr, 1998b).

Apesar do fervor provocado pelas novas tecnologias inventadas durante a Segunda Revolução Industrial, seu uso intensivo como fator de ganhos consideráveis levou tempo para se estabelecer (Schurr, Netschert, Eliasberg, Lerner & Landsberg, 1960). Estima-se que durante 70 anos, desde 1870, a indústria mundial passou por uma curva de aprendizado, redesenhando sua forma de organização, remodelando a economia mundial e caracterizando o crescimento com base em uma nova forma de medição: a produtividade horária (David, 1990).

A Terceira Revolução Industrial ocorreu com o desenvolvimento da automação, conceituada por Taylor no aumento de produção e diminuição do trabalho em face de uma organização científica do trabalho (Harvey, 1996).

Esse avanço na organização científica do trabalho foi proporcionado principalmente pela queda contínua dos preços dos computadores a partir de 1950, como pode ser visto na Figura 7 (Yorukoglu, 1996).

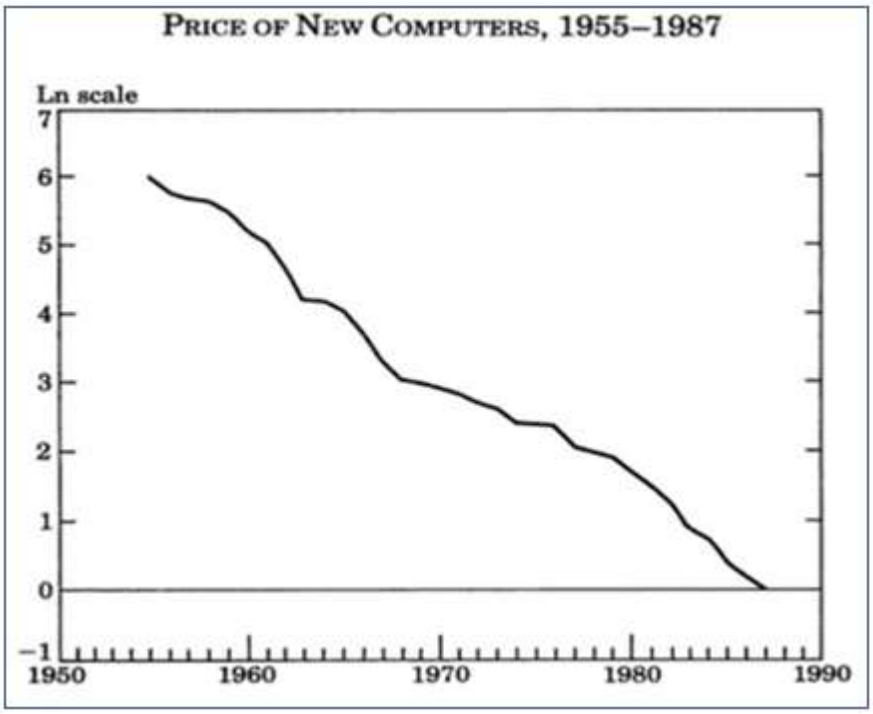


Figura 7
Preços médios anuais de novos computadores, 1955-1987.
Fonte: Yoruglu, M. (1988). The information technology productivity paradox. *Rev Econ Dyn*. *1*(2):51-92.

E os preços dos computadores caíram devido ao crescimento da indústria microeletrônica, liderada pelo Japão, permitindo que esses equipamentos mudassem rapidamente sua capacidade de processar, armazenar, distribuir e transmitir informações por meio de redes de comunicação. Esse mesmo processo, porém em menor escalar, verificou-se também na Alemanha (Tavares, 1992, pp. 33).

O grande salto da Terceira Revolução Industrial, também denominada era da informação, ocorreu quando estudantes do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) desenvolveram o primeiro pacote de dados entre 1961 e 1972 (Kurose & Ross, 2012, p. 60). Isso fez com que os avanços permitissem a distribuição de dados a locais geograficamente diferentes entre 1972 e 1980 (Kurose & Ross, 2012, p. 63) até a proliferação das redes denominadas, a partir daí, de Internet (Kurose & Ross, 2012, p. 64), consolidada na *World Wide Web* no início de 1990.

Paralelamente a isso, a indústria de aviação bélica americana compreendeu, no pós-guerra, o poderio da implantação da tecnologia eletrônica avançada desenvolvida nos laboratórios do mundo, assim como a conexão desta com sofisticados sistemas de comunicação. Isso permitiu mais confiabilidade dos voos, o

atingimento de velocidades supersônicas e, com isso, superior possibilidade de estratégia de guerra (Noble, 2010).

Rapidamente, a indústria da aviação e do óleo e gás, principalmente, começaram a absorver essas novas tecnologias e passaram a usá-las nas rotinas de suas fábricas (Noble, 2010, p. 57). E com isso nasceu, em 1947, o termo automação (Noble, 2010, p. 66), cunhado pelo engenheiro da Ford, Del Harder, que já dava mostras de sua capacidade de aplicação e ganhos para a indústria a partir da elevação de produção de barris de petróleo, de 30.000 para 500.000 barris por dia entre 1940 e 1945, com o uso de sensores de controle de temperatura, pressão e fluxo nas máquinas de produção (Noble, 2010, p. 60).

A incorporação de microprocessadores às estruturas físicas dos equipamentos, a comunicação entre esses equipamentos possibilitada pela implantação de redes e o fato de a automação proveniente da combinação dessas características permitir a programação e reprogramação das máquinas para a execução de diferentes sequências de atividades proporcionaram o salto de um sistema de produção rígido para outro de natureza flexível. Dava-se aí o primeiro avanço rumo à inteligência das máquinas (Perez, 1985, p. 445).

A difusão da automação na esfera industrial foi acelerada pelo processo do desenvolvimento da tecnologia de Controle Numérico (CN), na qual, por meio de um programa desenvolvido em computador e aplicado ao microprocessador da máquina, foi possível definir a forma de funcionamento do equipamento, o que e como este produziria. Essa tecnologia passou a ser denominada Controle Numérico Computadorizado (CNC) (Kaplinsky, 1984, p. 62) e estabeleceu a consolidação da Terceira Revolução Industrial.

O grande marco na transição entre a Terceira e Quarta Revoluções Industriais emerge quando a automação se encontra com a digitalização. Com isso, as principais inovações tecnológicas passam a alimentar significativa mudança estrutural nas indústrias, principalmente porque trata de mudanças de escala e escopo capazes de promover rupturas altamente significativas (Schwab, 2016, p. 18).

O poder de transformação da Quarta Revolução Industrial não diz respeito somente à evolução de sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. Ocorrem novas ondas de descobertas disruptivas em áreas como sequenciamento genético, nanotecnologia, energias renováveis e computação quântica. O grande diferencial da

Quarta Revolução Industrial é a fusão dessas tecnologias em conjunto com a interação dos domínios dos meios físicos, digitais e biológicos (Schwab, 2016, p. 16).

No âmbito industrial, o processo de digitalização consiste na capacidade de representação dos sistemas e equipamentos existentes em um ambiente virtual e as suas interações com o mundo real, sendo estes também conhecidos como Sistemas Físicos Cibernéticos (CPS – *Cyber Physical Systems*) (Dean, DiGrandi, Field, Ludmark, O´Day, Pineda & Zwillenberg, 2013).

Sendo assim, a Quarta Revolução Industrial, caracterizada pela digitalização, permitiu a personalização da produção massificada por meio da aplicação de sensores cada vez menores, com mais precisão e resistentes. Isso tudo, conectado a uma Internet mais robusta, com mais velocidade e capacidade de armazenamento e, ainda, com a incorporação da inteligência artificial, tem desencadeado novos produtos e modelos de negócios (Deloitte, 2014; Mckinsey, 2016; Schwab, 2016).

Toda essa lógica de produção condicionada à integração de inovações em várias áreas do campo da automação, controle e tecnologias da informação, que podem ser integrados ao processo de manufatura, forjou o termo Indústria 4.0. Sua origem foi na Feira de Hannover, em 2011, a partir da proposta de uma nova tendência mundial de desenvolvimento de fábricas inteligentes (*Smart Factories*) (Schwab, 2016).

O marco inicial para a Indústria 4.0 foi dado a partir do lançamento de um programa do governo alemão denominado *High-Tech Strategy*, que em 2006 representou a primeira iniciativa em busca de *stakeholders,* com o propósito comum de buscar desenvolvimento de inovação e novas tecnologias (*Germay Trade & Invest* - GTAI, 2016, p. 12).

O sucesso dessa iniciativa foi tal, que em julho de 2010 o programa foi estendido como parte estratégica da política industrial alemã coma alcunha *High-Tech Strategy* 2020, com o objetivo de liderar o fornecimento das tecnologias provenientes da Indústria 4.0 (GTAI, 2016, p. 12).

E o resultado da parceria entre governo, indústrias e academia, no programa *High-Tech Strategy* 2020, foi o lançamento, em abril de 2013, da publicação "*Seguring the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 – Final report of the INDUSTRIE 4.0 Working Group*", sendo esse o novo e atual direcionador das políticas públicas para as

indústrias, investimentos industriais e pesquisas acadêmicas da Alemanha (GTAI, 2016, p. 16).

Percebendo esse movimento alemão, o Presidente dos Estados Unidos acatou, em 2011, documento elaborado pelo Conselho de Ciência e Tecnologia Americano (PCAST) que sugeria aceleração no desenvolvimento de tecnologias nas atividades manufatureiras do país. Isso desencadeou investimento de US$ 1 bilhão para criação da *National Networking for Manufacturing Innovation* (NNMI), inspirada na Fraunhofer (Associação alemã para fomento de pesquisas industriais). Como consequência, em 2012 os Estados Unidos criaram 15 Institutos de Inovação em Indústria (IMI), com o planejamento de triplicar esse número nos próximos 10 anos (*President´s Council of Advisers on Science and Technology* - PCAST, 2011, p. 17).

Seguindo o modelo alemão, os Estados Unidos lançaram, em 2011, seu *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), em que governo, indústrias e academia se uniram para desenvolver tecnologias e capacitação altamente qualificadas para as fábricas. E em 2014 surgiu uma segunda versão, o AMP 2.0, com vistas a acelerar o processo de inovação na indústria americana (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro - Firjan, 2016, p. 7).

Ainda nesse movimento da Quarta Revolução Industrial, apresenta-se como um ator importante a China, que em março de 2015 lançou, por meio de uma iniciativa governamental, o programa "*Made In China* 2025", inspirado no modelo alemão *INDUSTRIE* 4.0 (Firjan, 2016, p. 7).

A implantação do "*Made in China* 2025" baseia-se no conceito Shan Zhai, amplamente utilizado na China, ratificando a tradição de copiar globalmente e inovar localmente (Huang, Ma & Tse, 2009).

Apesar de muitos de fora da China ainda considerar o modelo Shan Zhai uma forma de piratear produtos, internamente o termo é difundido como algo feito em casa ou desenvolvido por eles próprios. E a proposta governamental para o "*Made In China* 2025" é justamente modernizar a indústria local com o compartilhamento de conhecimento dos grandes fornecedores mundiais que atuam na China (Merics, 2016, p. 7).

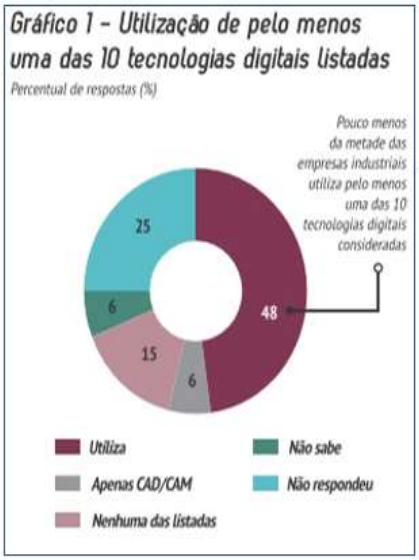
E para demonstrar sua intenção de desenvolver rapidamente as tecnologias na indústria local, o governo chinês criou o *Advanced Manufacturing Fund,* com aporte orçamentário de 2.700.000.000 de Euros. Esse valor é representativo, comparado aos

200.000.000 de Euros investidos pela Alemanha em um fundo similar para o desenvolvimento da Indústria 4.0, quando de sua criação (Merics, 2016, p. 7).

No Brasil, o primeiro movimento científico e estruturado para buscar entender os desafios da Indústria 4.0 deu-se por meio da Sondagem Especial – Indústria 4.0 realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em abril de 2016 (CNI, 2016a).

Estudos também avançam na busca do entendimento da capacidade de absorção de novas tecnologias nas indústrias brasileiras e percebe-se que os grandes fornecedores mundiais de tecnologias em Indústria 4.0 atuam no Brasil. E mesmo sendo líderes desse segmento em seus países de origem, não conseguem conectar e aplicar os conceitos no chão de fábrica do Brasil, muito por conta da insuficiência de investimento e altas tributações, o que encarece a introdução das tecnologias, assim como a pouca qualificação do corpo técnico para a disseminação de conceitos e práticas (Nakayama, 2017).

Por intermédio de seu Conselho Temático Permanente de Política Industrial e Desenvolvimento Tecnológico (COPIN) (CNI, 2016b), a Confederação Nacional das Indústrias indica os desafios para a Indústria 4.0 no Brasil, sendo que o conceito ainda é pouco difundido, pois 42% das empresas desconhecem a importância das tecnologias digitais (Figura 8) e 52% não utilizam alguma tecnologia digital das 10 opções listadas na pesquisa (Figura 9). Ao mesmo tempo em que isso é um problema, demonstra o potencial de evolução da indústria brasileira em busca de competitividade e produtividade e a partir dessa geração de riquezas, empregos e mais participação e incremento do PIB nacional. A questão precisa ser estratégica nas organizações públicas e privadas, contando com isso com o apoio de orgãos que fomentam o desenvolvimento.



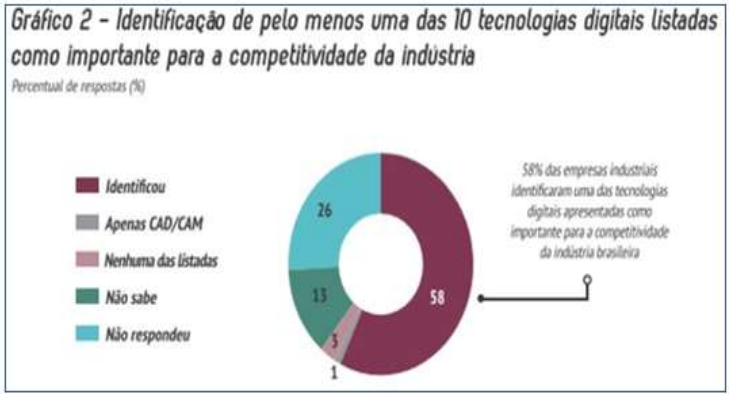


Figura 8
Utilização das tecnologias da Indústria 4.0 pelas empresas brasleiras.

Figura 9
Conhecimento das empresas das tecnologias da Indústria 4.0.

Fonte: CNI (2016a, maio). Confederação Nacional da Indústria. *Sondagem especial Indústria 4.0*. Brasília, ano 17(66).

Em sua pesquisa, a CNI ainda propõe a estratégia de incorporação das novas tecnologias digitais, provenientes da Quarta Revolução Industrial, como forma de manter a competitividade das indústrias brasileiras em nível global (CNI, 2016b).

Em resumo, e promovendo uma linha evolutiva das revoluções, pode-se destacar que a Primeira Revolução Industrial proporcionou acentuado crescimento para a Inglaterra, com a criação e desenvolvimento dos processos a partir da máquina a vapor (Allen, 2006). Já na Segunda Revolução Industrial destaca-se o surgimento da energia elétrica e com ela a produção em massa por meio da aceleração do crescimento de empresas como a Dupont, Ford e *General Electric* (GE) (Mokyr, 1988a). A Terceira Revolução Industrial é marcada pela invenção dos semicondutores e a consequente derivação de dispositivos que permitiram a automação a partir da evolução da eletrônica (Coelho, 2017).

Na Quarta Revolução Industrial, que ainda está em curso e bem em seu início, destacam-se os sistemas cyberfísicos (CPS), que é a conexão entre o mundo físico e o mundo digital (Lorenz, Rüßmann, Waldner M, Justus, Engel & Harnisc, 2015), conforme a Figura 10. Todas as revoluções permeiam instabilidades, incertezas e inseguranças, mas em todas o mundo evolui para condições melhores de trabalho e vida da sociedade, nas quais uns levam menos tempo para a adaptação e outros levam mais tempo. Aqueles que levam menos tempo em geral aproveitam as melhores

oportunidades e colocam em prática planos que melhoram suas vidas e a das pessoas ao seu redor.

Figura 10
Rim, orelha e osso do dedo gerado por manufatura aditiva.
Fonte: Menezes, F. M. (2015). *A linha do tempo na Engenharia de Produção*. [Online]. Recuperado de: https://www.linkedin.com/pulse/linha-do-tempo-na-emgenharia-de-produção%C3%A7%C3%A3o. felipe-morais-menezes.

3.2 As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

As sete tecnologias listadas no estudo, segundo CNI (2016b), são derivadas das principais tecnologias habilitadoras da Quarta Revolução Industrial, sendo estas representadas pela: Internet das coisas, *Big Data*, a computação em nuvem, a Robótica Avançada, a inteligência artificial, os novos materiais/materiais inteligentes e as novas tecnologias de manufatura aditiva/híbrida.

Quando Kevin Ashton, durante uma apresentação para a *Procter & Gamble* em 2009, cunhou o termo Internet das Coisas, apesar de imaginar o poder dessa tecnologia, não fazia ideia da sua capacidade de revolucionar o mundo e acelerar as mudanças, mais que a Lei de Moore (Ashton, 2009).

E isso pode ser comprovado pelo estudo elaborado por pesquisadores chineses, apresentado na Figura 11, demonstrando a evolução dos dispositivos conectados em relação à população do planeta até o ano 2020. Da mesma forma que

a Internet revolucionou as comunicações, a Internet das coisas irá revolucionar as formas de interações humanas, devido aos seus trilhões de sensores conectados ao ambiente. Tudo isso em um ambiente no qual o mundo passará de 7 bilhões de habitantes com cada vez mais pessoas conectadas, interagindo com o mundo virtual e requerendo deste mais comodidade e qualidade nas prestações de serviços (Cisco IBSG, 2011).

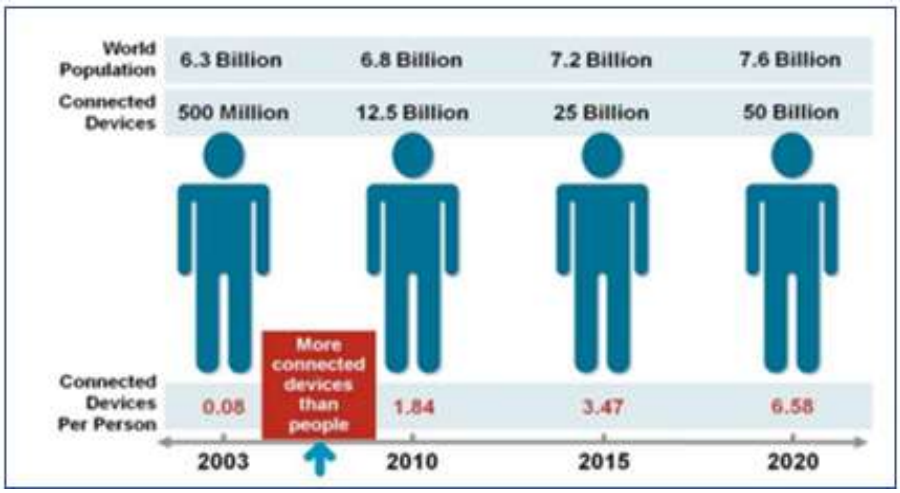


Figura 11
Evolução da Internet das coisas até 2020, de CISCO ibgs (20011).
Fonte: CISCO IBGS (2011). *The internet of things how the next evolution of the Internet is changing everything*. Singapore, 11 p.

3.2.1 Internet das coisas (IoT)

A Internet das coisas é composta de objetos considerados inteligentes, sendo estes físicos, pequenos e altamente restritos em relação à memória que pode ser armazenada, capacidade de processamento de dados, autonomia energética e capacidade de comunicação, mas possui capacidade de armazenar códigos que permite a identificação de qualquer coisa específica de forma única e global (Jara, Ladid & Skarmeta, 2014).

O *Institute of Electrical and Electronics Enginners* (IEEE) buscou consolidar todos os conceitos da Internet das coisas na seguinte definição: uma rede de itens, os quais um incorporado e comunicando através de seu próprio sensor, que está conectado à Internet (Postcapes, 2014).

Mesmo com todos os esforços para a definição de um conceito definitivo, a Internet das coisas ainda provoca confusão e alimenta debates em pesquisas

científicas, conferências e fóruns de discussão, deixando aberto o debate filosófico para consolidação do tema (Kranenburg, 2011; Raiwani, 2013).

O meio científico identifica que a Internet das coisas desponta como uma evolução inevitável da internet para a fronte de quebra de paradigmas capazes de revolucionar os modelos de negócios e as interações entre meio ambiente e sociedade, no tocante à comunicação de objetivos físicos e o mundo virtual (Lacerda & Lima-Marques, 2015).

Apesar de alguns ainda pensarem que a Internet das Coisas se restringe a itens com televisões inteligentes, carros inteligentes ou conexões em geladeiras e fogões (Evan, 2018), as pesquisas e aplicações já são inúmeras e diversas, como mostra a Figura 12, sendo introduzida no cotidiano das pessoas por intermédio de vários segmentos, produtos e dispositivos, como:

a) Bens de consumo como *smartphone*, *smartcar* e *smartTV* e suas conexões com demais dispositivos domésticos e programas externos que facilitam o cotidiano das pessoas;
b) saúde a partir de itens como monitoramento de batimentos cardíacos, monitoramento de pacientes em hospitais, casas ou com cuidadores e também por *wearables*, que são roupas ou qualquer acessório utilizado no corpo que transmite em tempo real sinais vitais e parâmetros para tomadas de decisão em saúde;
c) transporte inteligente que interage com os atuais *softwares* de inteligência artificial e geolocalização, bem como integrações de transportes urbanos. O *Waze* é somente o início de toda uma transformação, que passa, inclusive, pela redução da necessidade de se ter um veículo, quando já é possível contar somente com o serviço de logística;
d) distribuição de energia com base no conceito de *Smart Grid*, em que é possível realizar medições remotas de energias residenciais, operações automáticas em subestações elétricas, bem como vender o excedente de energia gerado em uma residência para a concessionária;
e) logística, promovendo a rastreabilidade de itens, posicionamento correto e em tempo real de produtos, inventários automáticos;
f) segurança pública, sendo possível monitorar estruturas de construções, reconhecimento faciais e identificação de posições de pessoas;

g) manufatura que promove o controle de condições ambientais, controle dos processos de produção e monitoramento do ciclo de vida de ativos;
h) agricultura e seus avanços em gerenciamento da qualidade dos produtos, controle do cultivo e do manejo de animais.

Toda essa evolução pode ser sintetizada no conceito de *Smart World*, cuja relação entre o homem e a máquina se torna invisível, proporcionando um mundo mais inteligente e eficaz, com relações mais instáveis levando-se em conta a condição social e individualista dessa posição (Evan, 2018; Freitas Dias, 2016; Patel & Patel, 2016).

Figura 12
Aplicações da internet das coisas.
Fonte: Marconi, M. (2018). *Internet das coisas: história, conceitos, aplicações e desafios*.

3.2.2 Big Data

A conexão cada vez maior de dispositivos e coisas gera a necessidade de vencer o desafio de reunir e analisar dados de fontes de diversas naturezas, levando ao termo "*big data*", que considera a múltipla natureza dos dados, o uso ilimitado e

capacidade de grande processamento em escala e a relação entre tecnologias distintas (Davenport, 2014).

A abordagem do big data, que significa grande quantidade de dados, é ancorada em quatro pilares de sustentação, denominados 4V, sendo eles: a) volume, que remete à quantidade de dados que serão gerados pela Internet das coisas; b) variedade, referente às diferentes fontes de geração de dados; c) velocidade, cujos canais de fluxo de dados devem permitir o processamento de todos os dados trabalhados; d) veracidade, que denota a qualidade dos dados para que gerem decisões corretas como solução de seus processamentos (Dumbill, 2012).

No entanto, a sociedade precisa mudar a perspectiva de abordagem do *big data* de uma questão tecnológica para uma visão filosófica, pois esse novo conceito e suas inovações notáveis estão destinados a reformular a maneira como vivemos, em que sai a causalidade e entra a precisão dos dados para as tomadas de decisões da vida (Cukier & Schonberger, 2013).

E no viés técnico, a tecnologia *Analytics*, que consiste em uma análise preditiva dos dados trabalhos e obtidos a partir da mineração de dados, ou seja, a exploração dos melhores dados em meio a um conjunto considerável destes, pode ser realizada a partir de métodos estatísticos para separação e reunião de conjuntos. Essa fase pode ser definida como *Discovery* (Tavares, 2014).

Em continuidade, passa-se a efetuar uma caracterização dos dados, realizando-se a limpeza destes, transformação, confirmações de fontes e suas validações, sendo possível, ao final, chegar à preparação dos dados minerados do lago de dados (*data lake*) (Oliveira, 2013).

A última fase, que é denominada *ingest*, faz parte do processo de inserção dos dados trabalhos e categorizados, considerados, assim, com o melhor nível de confiabilidade possível, que serão utilizados novamente para povoar o lago de dados e permitir a análise do conteúdo, que deve estar associado ao contexto do negócio analisado (Oliveira, 2013; Tavares, 2014).

Todas as vantagens atribuídas à implantação da tecnologia do *big data*, que é considerada uma tecnologia devido ao seu crescimento exponencial e com isso requer muitas pesquisas e desenvolvimentos para o seu estabelecimento (Saracevic, 1996), só se torna viável no caso de a organização estabelecer um planejamento para o suporte da mudança do modelo do negócio. Isso tem que ser feito calcado em consistente análise de viabilidade econômica, verificação da infraestrutura necessária

para a evolução e adesão da liderança ao processo de disruptura. A indústria inicia sua utilização do *big data*, da qual podem ser destacadas quatro categorias e suas formas de uso, sendo que as indústrias de telecomunicações possuem muitos dados, mas os utilizam pouco para que possam ter vantagens competitivas.

A indústria da saúde trabalha com poucos dados digitalizados e com isso está em desvantagem em relação às demais. Já as indústrias de bens de consumo (CPG) possuem acesso limitado a dados, mas mesmo assim podem melhorar seus departamentos operacionais e atendimento ao cliente com melhor utilização de sua base de dados. Por fim, o setor de investimentos é o que possui o melhor uso do *big data*, para tomada de decisão, tirar vantagens competitivas e proporcionar melhor atendimento aos seus clientes. Na Figura 13 é apresentado o resumo desse panorama (Davenport, 2014).

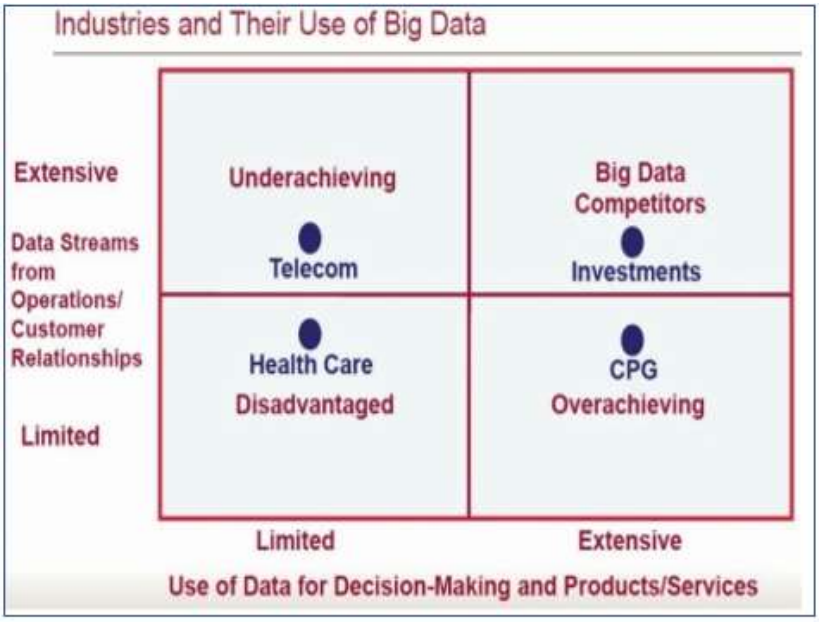


Figura 13
Indústrias e seu uso do *Big Data.*
Fonte: Davenport, T. (2014). *Big Data at work: Disppeling the myths, uncovering de opportunities.*Press book.

3.2.3 Computação na nuvem

A computação na nuvem pode ser comparada a uma metáfora, em que um investidor compra um grande terreno, constrói neste um prédio e passa a disponibilizar apartamentos em aluguel para inquilinos. Fazendo analogia a essa metáfora, o provedor dos serviços disponibiliza o espaço de armazenamento na Internet e os clientes pagam somente pelo espaço que é utilizado (Khalid, 2010).

Contudo, sendo este mais um conceito disruptivo, o estudo de mais de 20 definições estabelece algumas características mínimas para enquadramento como computação na nuvem, sendo eles: grandes reservatórios virtualizados de *hardware*, de fácil utilização, com modelo de cobrança por utilização e capacidade de ganhar escala (Vaquero, Rodero, Caceres & Lindner, 2009).

Destaca-se que a computação na nuvem é uma forma de usar a tecnologia e não uma tecnologia específica. Isso permite que essa forma de uso permita englobar diferentes áreas e conversar com diferentes tecnologias (Jeffery & Neidecker-Lutz, 2010).

Como parte de uso inovador das tecnologias, a computação na nuvem ainda está em fase de desenvolvimento de terminologias para a melhor identificação de seus sistemas. Entre os mais utilizados, podem ser destacados os tipos de nuvem já existentes e categorizados (*European Commissio*n, 2010). Sua estrutura está ilustrada na Figura 14, que divide entre infraestrutura, plataformas e serviços (aplicação) e pelos quais vêm sendo desenvolvidas soluções, por grandes empresas. Estas, inclusive, geram uma exploração que considera a nuvem um novo tipo de petróleo virtual, devido à imensidão de espaço virtual disponível para ser explorado de forma a gerar valor para as empresas que atuam no setor, assim como para os usuários, sejam eles organizações ou pessoas, com soluções baseadas nas metodologias mais conhecidas, como se segue:

a) *Infrastructure as a Service* (Iaas) – basicamente é a disponibilidade virtual de espaço para a utilização de diferentes recursos, sendo eles, desde somente a disposição de dados para acesso futuro, até como base para rodar uma plataforma de um *software*. Exemplo desse tipo de nuvem é a *Amazon* S3 ou a SQL *Azure*;
b) *Platform as a Service* (PaaS) – esta oferece recursos computacionais a partir de aplicações que podem ser desenvolvidas por um programador. São usualmente dedicadas para desenvolvedores de *Application Programming*

Interface (API), nos quais são criados rotinas e padrões de programação para acesso a um aplicativo, entre os quais se tem como exemplo *Force.com*, *Google App Engine* e *Windows Azure*;

c) *Software as a Service* (SaaS) –oferece negócios e funções que são acessadas especificamente na nuvem, contudo, com uma interface mais amigável para o usuário que não seja um programador, sendo que podem ser citados como exemplo o *Google Docs*, *Google Forms*, *Salesforce* CRM e SAP *Business by Design*.

Mesmo existindo mais métodos de utilização das nuvens, os aqui descritos consolidam o que vem sendo desenvolvido por quase 95% dos desenvolvedores do mundo em termos de soluções nas nuvens *(European Commission*, 2010).

Figura 14
Computação em nuvem.
Fonte: European Commission (2010). *The future of cloud computing: Opportunities for European cloud computing beyond 2010*. Public version 1.0. Information Society and media.Adaptada pelo autor.

3.2.4 Robótica Avançada

O termo robô não foi utilizado pela primeira vez em uma indústria. Na realidade, o termo foi cunhado em uma peça teatral na qual, em 1921, o dramaturgo checo Karen Capek em uma peça teatral nominada “Os Robôs universais de Russum” descreveu um autômato que se rebelava contra o ser humano, sendo o termo robô derivado da palavra eslava *robota,* que significa: trabalho forçado (Schiavicco & Siciliano, 1995).

Já o termo robótica foi criado pelo escritor Isaac Asimov, na década de 1940 (Schiavicco & Siciliano, 1995), para designar a ciência que se dedica ao estudo dos robôs e sendo estes conceituados como uma máquina de aparência humana não possuidora de sentimentos.

Contudo, o primeiro robô industrial, denominado UNIMATE, foi instalado em uma fábrica em 1961 pela empresa *Unimation Inc*., resultando na combinação de garras e mecanismos controlados a partir da recém-desenvolvida tecnologia de controle numérico computadorizado (Universidade de Campinas - Unicamp, 2012).

O avanço da robótica promoveu o debate e também a ampliação de seu conceito. A *Robotics Industries Association* (RIA) define o robô industrial como um manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, por meio de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas (Rivin, 1988).

Já a *International Organization for Standardization* (ISO, 2011) define o robô industrial como uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade, controlado automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial.

A expressão Robótica Avançada geralmente se refere à ciência que estuda os robôs com características autônomas (Schiavicco & Siciliano, 1995), campo este que promove a transição entre os robôs meramente industriais para os robôs móveis que possuem como característica a possibilidade de locomoção e de operação de modo semi ou completamente autônomo (Jung, Osório, Kelber & Heinen 2005).

E as tecnologias intermediárias, que possibilitam as soluções de problemas que impediam os avanços das mobilidades, interações e autonomia dos robôs, avançam de forma considerável. Podem ser citados os *webots*, que permitem a prototipação rápida para simulação de movimentação (Michel, 2004), os *roboframes*, que permitem simular a locomoção e estabilidade dos robôs (Elkady & Sobh, 2012), entre outros. Com isso, a inteligência artificial aplicada à Robótica Avançada torna-se um elemento de desenvolvimento exponencial dessa tecnologia e faz com que essa conjunção se

apresente como um dos campos que mais geram oportunidades de desenvolvimento e contratação de desenvolvedores.

Com o desenvolvimento da Robótica, grande preocupação de toda a sociedade é com a questão do desemprego proporcionado pelo avanço dessa tecnologia. E isso pode ser confirmado na Figura 15, na qual 38% dos respondentes de uma pesquisa global realizada pelo Fórum Econômico Mundial (WEF) responderam qual a maior preocupação com o avanço das tecnologias robóticas. A pesquisa contou com 18.042 respondentes com idades entre 16 e 64 anos e foi realizada em agosto de 2016. Isso reflete o retrato de todos os países, com exceção de Alemanha, Estados Unidos e China, que saíram na frente e estão colhendo as oportunidades da Quarta Revolução Industrial como agentes de geração de tecnologia, conhecimento e mão de obra para a implantação da Indústria 4.0 ao redor do mundo. Só como mais uma informação, os dois primeiros países desta lista que impulsiona a Indústria 4.0 (Alemanha e USA) vivem em pleno emprego, com índices que destoam totalmente do resto do mundo (Global Adivsor, 2016).

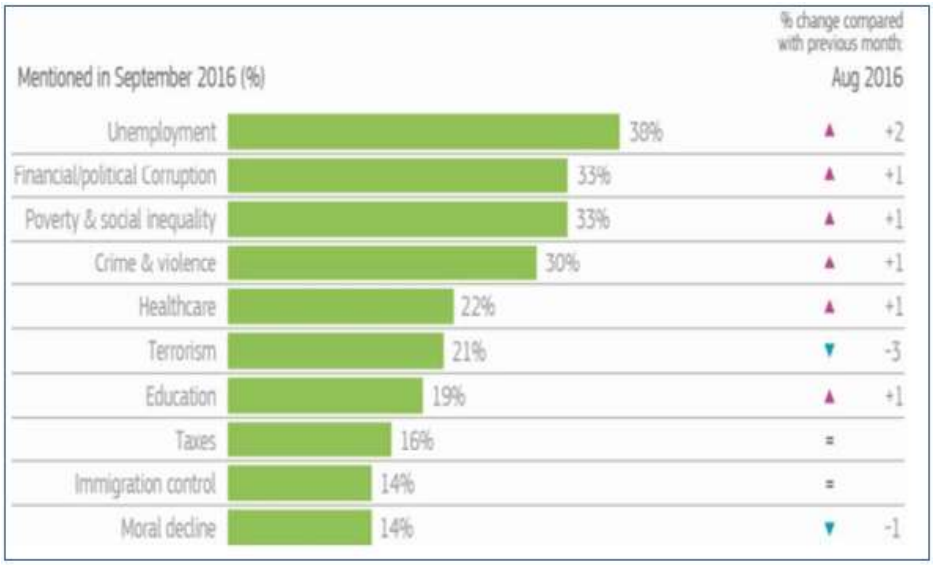


Figura 15
O que mais preocupa as pessoas com o avanço das tecnologias robóticas.
Fonte: Global Advisor (2016). *Automation is not the endo f world: Here´s why*. World Economic Forum.

A questão é que o modelo de ensino em torno do mundo continua direcionado para o aprendizado de rotinas ou não rotinas manuais. E são justamente essas atividades que serão impactadas pela Robótica Avançada. A Figura 16 exibe o dilema da educação e treinamento do mundo atual, onde as maiores oportunidades de

emprego, que estão ligadas ao aprendizado interpessoal e analítico, são as que possuem menos investimento na educação global. Já atividades extremamente de rotina e manuais, que relatam queda vertiginosa, continuam sendo ensinadas em massa. Esse é um retrato que precisa ser mudado para que a preparação dos profissionais do futuro seja mais alinhada às necessidades que irão surgir. E mais uma vez pode ser ressaltado que as oportunidades são imensas para aqueles que se propõem a aceitar a mudança e, em vez de negar, trabalhar como agente propagador desta (Global Advisor, 2016).

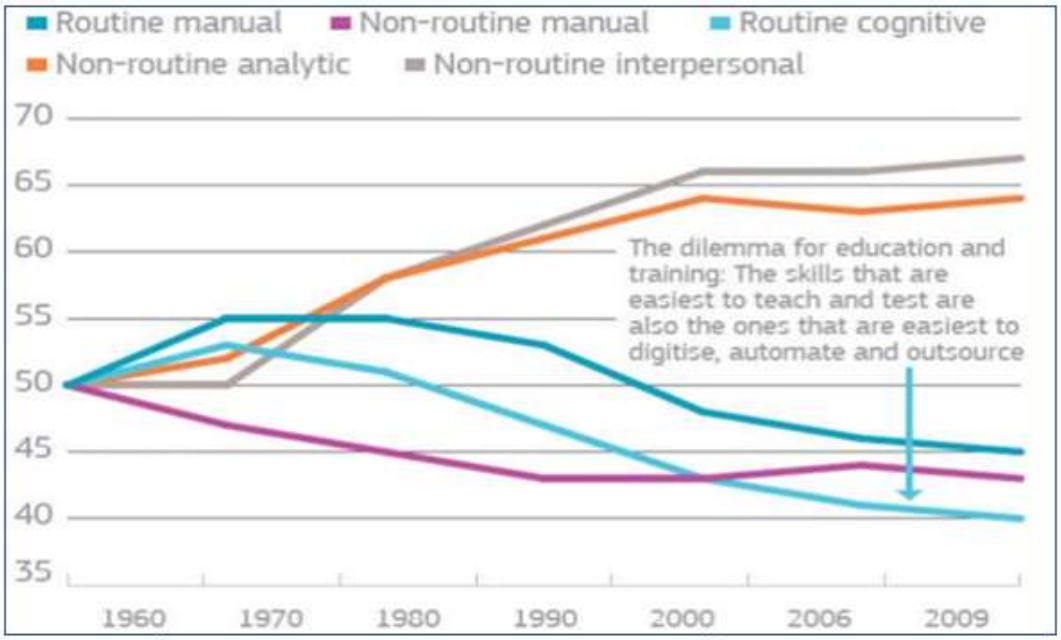


Figura 16 – Tendências de oportunidades de empregos em tarefas de rotina ou não rotina.
Fonte: Global Advisor (2016), Automation is not the end of world. Here's why. World Economic Forum.

Figura 16
Tendências de oportunidades de empregos em tarefas de rotina ou não rotina.
Fonte: Global Advisor (2016). *Automation is not the endo f world: Here´s why*. World Economic Forum.

3.2.5 Inteligência artificial

Considerada a grande tecnologia habilitadora da Quarta Revolução Industrial, a inteligência artificial tem seu desenvolvimento alicerçado nos 2.000 anos de tradição da Filosofia, na qual emergiram as teorias de raciocínio e aprendizado, associada ao desenvolvimento de teorias lógicas, probabilísticas, tomadas de decisão e computação (Russel & Norvig, 1995).

Nesse contexto destacam-se Aristóteles e Leibniz, que são considerados os fundadores da Ciência Cognitiva e inteligência artificial, respectivamente. O segundo buscou em seus trabalhos científicos a representação do conhecimento dos últimos 2.300 anos a partir da aplicação, refinamento, extensão ou reinvenção do que foi desenvolvido pelo primeiro. Leibniz consolidou seu trabalho de quantificação do conhecimento e raciocínio no trabalho "*Characteristica Universalis"* (Sowa, 1984). Pode-se considerar que Aristóteles tratou dos conceitos de desenvolvimento cognitivo, enquanto Leibniz cuidou de dar forma matemática, lógica e algorítmica a todo o conhecimento de Aristóteles, durante anos de pesquisas e desenvolvimento do conhecimento no campo das Exatas.

Várias são as técnicas de inteligência artificial, contudo, como em qualquer tipo de tecnologia disruptiva e evolutiva, existem aquelas que com mais avanço sobre as demais e se consagram mediante a validação da ciência, por se exporem ao maior crivo de utilização pública, assim como aumento do conteúdo de pesquisas. Entre as técnicas de inteligência artificial destacam-se três, que são classificadas assim de acordo com sua utilização a seguir.

Árvore de classificação e regressão (CART) é uma estrutura em árvore que consiste em nós internos e externos unidos em ramos que simulam as conexões de um cérebro, como mostrado na Figura 17, e é amplamente utilizada em aprendizado de máquinas (*Machine Learning*) (Burrows, 1997; 1998).

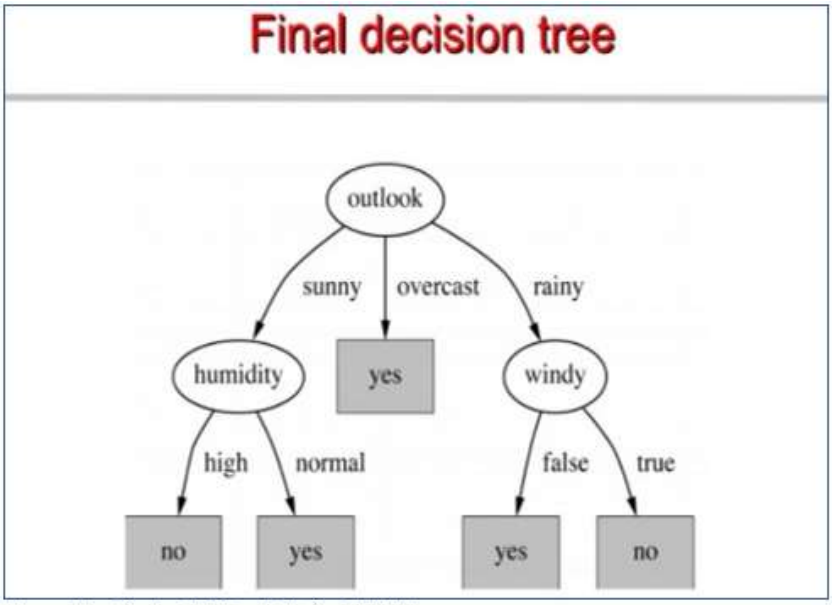


Figura 17 – Técnica CART de Inteligência Artificial
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17
Técnica CART de inteligência artificial.
Fonte: elaborada pelo autor.

A Teoria Fuzzy, apresentada na Figura 18, trabalha com conjuntos nebulosos e simula a inteligência humana e sua capacidade de resumir o conjunto de dados observados e selecionar os mais importantes para a tomada de decisão. Isso acontece com base em conjuntos elaborados e codificados por algoritmos que partem de um conhecimento básico, dados-base e regras básicas e um processador. A partir de dados de entrada, o processador decodifica a mensagem para a lógica nebulosa e posteriormente decodifica a mensagem nebulosa para a lógica normal, conforme é entregue em seu sinal de saída (Zadeh, 1973).

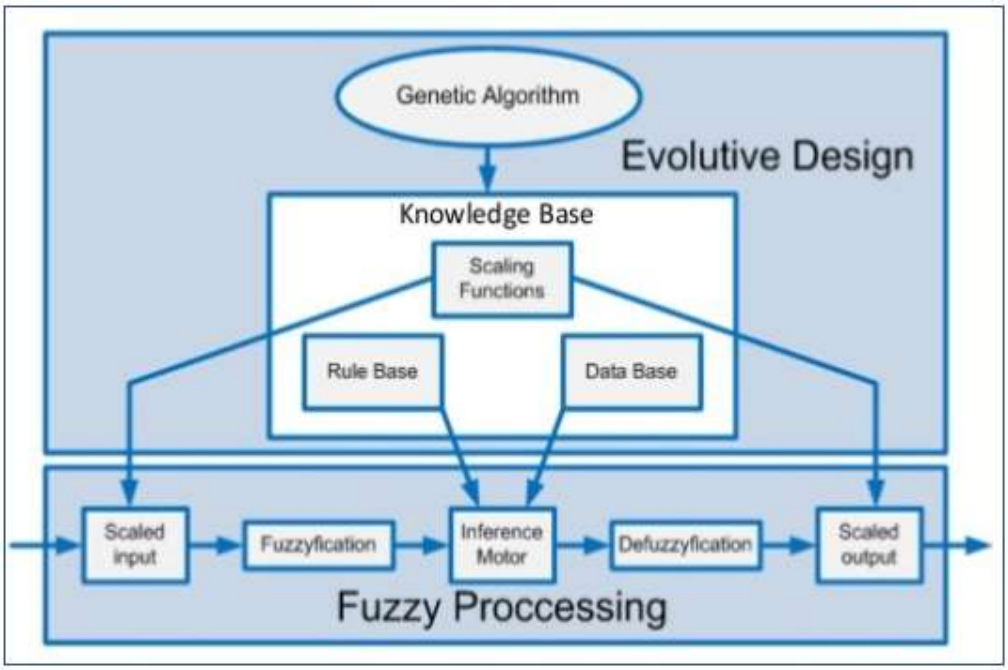


Figura 18
Técnica Fuzzy de inteligência artificial.
Fonte: Deustotech (2015). *Artificial intelligence technique at engineering*. Genetic Fuzzy Systems.

Já as redes neurais artificiais buscam o desenvolvimento de conhecimento por intermédio do processo de aprendizagem e associação dos pesos estabelecidos pelos neurônios no processo decisório que são conhecidos como sinapses. Assim, cada sinapse, que é considerada um ponto de conexão do cérebro, a partir do peso estabelecido propõe a tomada de decisão e qual o caminho a seguir da próxima rotina com o aprendizado pretérito, gerando tomada de decisão no presente e balanceando novamente os pesos no futuro (Haykin, 1994).

A Figura 19 retrata um modelo básico de funcionamento das redes neurais. Em sua parte superior é demonstrada a lógica de conexão cerebral pelo estabelecimento dos pesos em cada sinapse (conexão) e abaixo a aplicação das fórmulas matemáticas e equações que promovem o modelamento de funcionamento do cérebro pelas variáveis preestabelecidas pelo desenvolvedor (variáveis b) e as variáveis desenvolvidas pelo próprio algoritmo de aprendizagem e retroalimentado em cada nova sequência de aprendizado (variáveis LW).

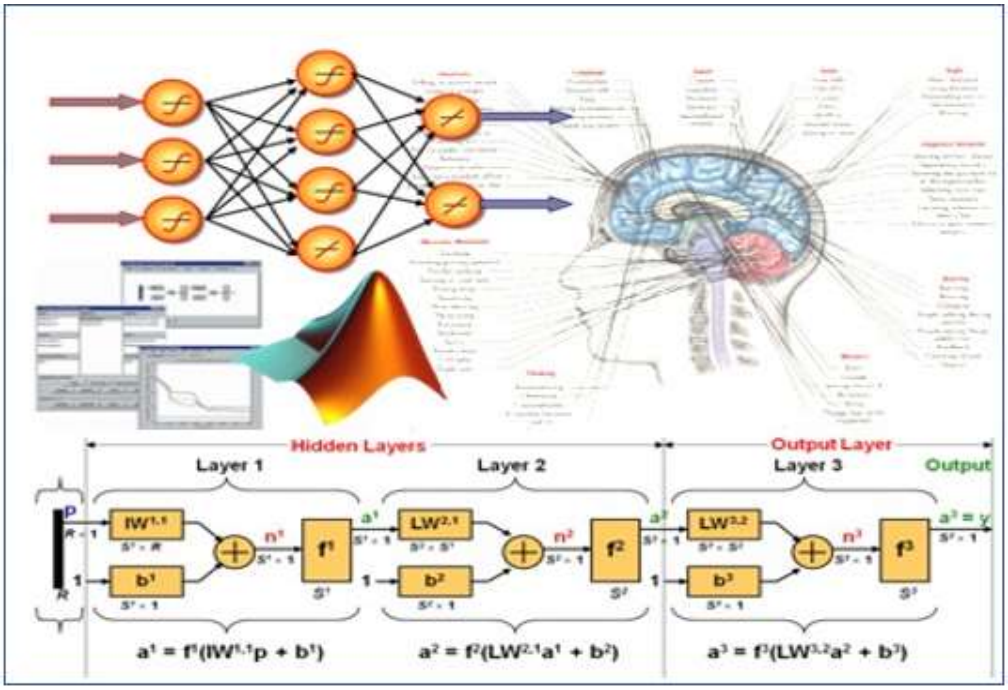


Figura 19
Técnica redes neurais de inteligência artificial.
Fonte: Valley, K. (2019). *Training on artificial intelligence*. Neural networks na Fuzzy logic fundamental concepts and techniques in Matlab.

Um dos grandes problemas encontrados por qualquer técnica de inteligência artificial e que vem sendo contornado por pesquisas e desenvolvimentos nesse campo é o processamento natural de linguagem (NLP), dado que a linguagem humana possui fragmentos próprios de cada idioma e até mesmo na estrutura mental de construção da lógica de raciocínio (Nilsson, 1993).

Na linguagem humana pode-se salientar a capacidade do desenvolvimento das máquinas em reconhecimento de imagens, visto a complexidade da visão humana e seu processamento cerebral até a transformação deste em informação. A partir das técnicas apresentadas, algumas etapas são percorridas, entre elas: aquisição da imagem, pré-processamento, segmentação, extração de feições e a classificação.

Após a classificação que pode ser feita por classificadores estatísticos ou neurais, segue o procedimento de descritores das formadas, podendo eles serem realizados pelo contorno ou a região, para assim entregar informação em seu estado da arte (Erpen, 2004).

Outra vertente da inteligência artificial é o reconhecimento de voz, que percorre um processo de extração de parâmetros, pela identificação das frequências sonoras emitidas pelo ser humano. A seguir passam por uma modelagem acústica, seguida de uma modelagem de linguagem. Daí a frequência sonora já tratada com sinal entra em um decodificador para ser transmitida em estado da arte para o reconhecimento computacional (Tevah, 2006).

Todas essas técnicas tendem a convergir para o campo de aprendizagem das redes neurais, as quais simulam a forma de aprendizado do cérebro humano, com o desafio de desenvolver os algoritmos preestabelecidos. Constitui, assim, o que é considerado *machine learning* (aprendizagem de máquina), o qual fará o processamento de todos os sentidos artificiais captados pela máquina e a consequente transformação destes em tomada de decisão (Bengio, 2007).

3.2.6 Novos materiais e materiais inteligentes

O mundo busca por novas tecnologias em materiais que atendam a diferentes aspectos de necessidades globais, sejam eles materiais que promovam menos poluição ao meio ambiente, que proporcionem avanço exponencial da eletrônica, que reduzam os custos de produção da indústria, que facilitem os processos construtivos, bem como os que promovam a geração de novas tecnologias dentro de todas as tecnologias habilitadoras. Daí essa categoria ter sido realçada como uma delas e estar ganhando espaço e evolução no campo da ciência e agora não só mais espacial, mas em todos os segmentos industriais.

Entre as sete tecnologias habilitadoras, os novos materiais e materiais inteligentes representam uma categoria que visa ao desenvolvimento para provocar a evolução da Internet das coisas, já possuindo aplicações relevantes em setores da indústria espacial e da construção civil, como registrado na Figura 20. Já é possível encontrar aplicações de fibras óticas para monitoramento de estruturas dinâmicas como pontes e viadutos, visto que não se trata mais de fase experimental de produto, mas de produção em escala e utilização em grandes projetos, vendidos como

diferencial de segurança em monitoramento e antecipação de tomadas de decisão em relação às condições de segurança em estabilidade de estrutura. Em países onde a ocorrência de terremotos, furacões e tsunamis são rotinas, tecnologias como estas são de grande valia (Smartfibres, 2000).

Fonte 20
Monitoramento dinâmico de pontes e viadutos por meio do uso de fibras óticas.
Fonte: Smartfibres Ltd. (2000). *Structural Health Monitoring*. Recuperado de> https://smartfibres comicase-studies/motorway-bridge-shm.

Pode ser citado também o desenvolvimento de materiais piezelétricos, que são aqueles que possuem a capacidade de identificar vibrações e transformá-las em informação mediante um processamento de inteligência artificial, os quais já são utilizados para simular movimentos humanos a partir de aplicações robóticas, de acordo com a Figura 21 (Troyk, Frankovic & Anderson, 1991).

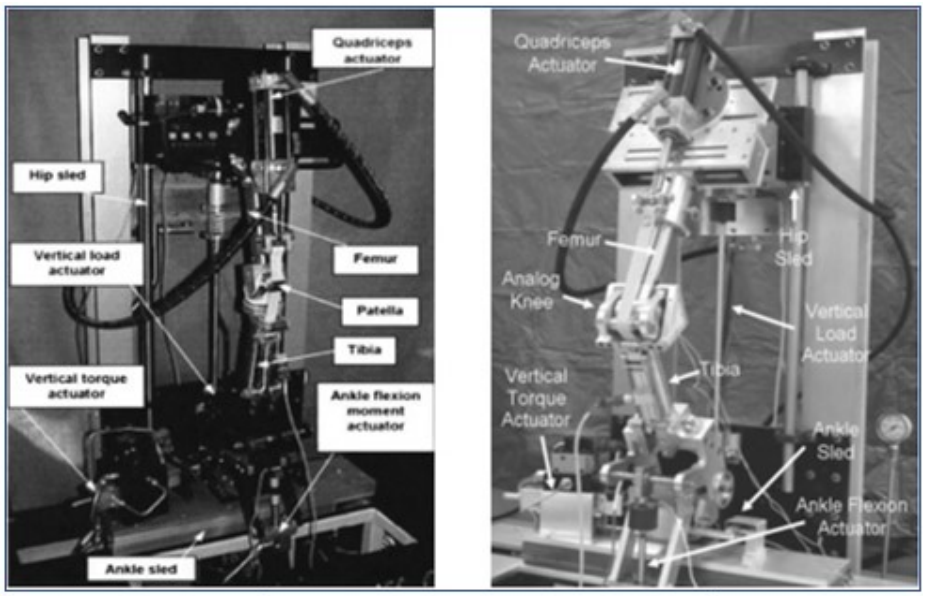


Figura 21
Material piezelétrico simulando os movimentos humanos em Robótica.
Fonte: Guedes, M. T., & Maletsky, L. P. (2003). Computational modeling of a dynamic knee Simulator for prediction of joint loading. *Annals of Bioengineering Conference*. Florida (pp. 859-860).

Uma nova classe de materiais, denominados cristalinos bidimensionais, vem revolucionando o mundo dos materiais, sendo o grafeno, mostrado na Figura 8, o grande destaque identificado nessa nova classe. Esse material foi desenvolvido de forma experimental pelos cientistas Andre K. Geim e Konstantin S. Novoselov, o que lhes garantiu o Prêmio Nobel de Física de 2010 (Geim & Novoselov, 2004).

E entre as suas características peculiares, que tem atraído grandes pesquisadores para o desenvolvimento de soluções em grafeno, estão as seguintes propriedades: 200 vezes mais forte que o aço (Hone, Kysar, Lee & Wei, 2008), um excelente condutor elétrico e térmico, pois conduz o calor 10 vezes melhor que o aço, além de ser extremamente flexível e resistente.

Figura 22
Grafeno, o material do futuro.
Fonte: Hone, J., Kysar, J. W., Lee, C., & Wei, X. D. (2008). Measurement of the elastic properties and intrinsic strenght of monolayer graehene. *Science, 321*, 385.

3.2.7 Manufatura aditiva

A sétima tecnologia habilitadora trata-se da manufatura aditiva, que consiste na fabricação de produtos pelo método da adição de materiais, também conhecido como prototipagem rápida. O funcionamento dessa tecnologia é baseado na criação de objetos tridimensionais (3D), camada por camada, pela adição de algum tipo de material (Cooper, 2001, Cunico, 2011).

O processo de fabricação pode ser caracterizado pelo material a ser utilizado na fabricação aditiva, podendo ser baseado em polímeros líquidos, material fundido, partículas discretas e sólidos laminados (Gibson, 2005).

Os métodos de aplicações desses materiais mais utilizados são a esteriolitografia (SLA), manufatura de objetos em lâminas (LOM), sinterização seletiva a *light amplification by stimulated emission of radiation - LASER* (SLS), modelagem por deposição de material fundido (FDM), base de cura sólida (SGC), conformação próxima do formato final via *laser* (LENS) e impressão 3D por jato de tinta (MJP) (Volpato, 2007).

Hoje algumas organizações já utilizam o processo de arquitetura aberta, em que, baseado em qualquer sistema de computador, é possível utilizar a impressão 3D de uma central, lançando mão dos diversos métodos apresentados com o posterior

pagamento e retirada da peça enviada para impressão (Jones, Haufe, Sells, Iravani, Olliver, Palmer & Bowyer, 2011).

O grande diferencial dessa tecnologia é a possibilidade de se fabricar geometrias complexas pela otimização estrutural dos produtos, pois com a adição de material somente onde é necessário faz com que a produtividade aumente e os custos de fabricação reduzam. Tudo isso é possível devido à transmissão direta de um programa de desenho, sem a necessidade de construção de ferramentas específicas para ajustes ou moldes para recortes (Hague, Mansour & Saleh, 2003).

No campo das aplicações práticas, a manufatura aditiva é a que mais avança das tecnologias habilitadoras propostas pela CNI (2016a). E para confirmar essa afirmação, podem ser apresentados casos reais que vão desde a aplicação na indústria militar até a de bens de consumo.

A Marinha Americana já trabalha com a reposição de peças sobressalentes em seus navios em alto mar. Essas peças geralmente são fabricadas para veículos aéreos não tripulados (VANT) (Figura 23), embarcações de embarque e desembarque e até mesmo pequenas peças dos navios. Tudo isso é possível pela disposição de impressoras tridimensionais a bordo dos navios, controladas pelos centros de reparo de esquadras (*Fleet Repair Center*), sendo que essas tecnologias e os método de trabalho são replicados para o Exército e a Força Aérea Americana (Appleton, 2014).

Figura 23
Instalação de peça fabricada em 3D em um VANT da Marinha Americana.
Fonte: Naval Air (2016). Naval Air Systems Command (NAVAIR). *Public Affairs: NAVAIR marks first flight with* 3D printed, safety-critical parts. History Numbr. NNS160729-25. Recuperado de> http://www.navy.mil/submit/display.asp?story_id=95948. 03/03.2019.

Não é só nas Forças Armadas que ocorre o avanço da manufatura aditiva. A *Boeing* já conta com mais de 300 peças fabricadas e entregues ao cliente em impressão 3D, tendo, inclusive, patenteado um sistema de atendimento de pedidos de peças sobressalentes em 2015 (Cunningham, Young & Schrader, 2015).

Em outra frente, a indústria automotiva tem seu expoente em manufatura aditiva na *Tesla Motors*, que combina a tecnologia aqui discutida com a Robótica Avançada, o que evita a reconfiguração de produção e proporciona a produção ágil de veículos customizados. O *set up* acontece somente no sistema computacional, não sendo necessárias modificações na área. Com isso, os ganhos de produtividade somados à redução de custo colocam a empresa em alto nível competitivo em alta escala (Snow, 2015).

Não menos importante, a indústria médica já há algum tempo proporciona o serviço de próteses e implantes por intermédio da manufatura aditiva. Nos primórdios da utilização da tecnologia, o foco era a Odontologia, que permitiu o avanço da utilização a partir da possibilidade de radiografia digital. Na sequência, o mercado de próteses e implantes ocupou um espaço que ainda tem muitas oportunidades de

crescimento. Contudo, a área de transplante de órgãos, que por muito tempo sofreu restrições devido à adaptação do processo biológico, agora começa a receber e replicar seus primeiros modelos, tecidos e órgãos para aplicação em escala, conforme Figura 24 (Morgan & Prentiss, 2014).

Figura 24 – Rim, orelha e osso do dedo gerado por Manufatura Aditiva
Fonte: MORGAN, J. A.; PRENTISS, J. M. (2014) An analysis of item identification for additive manufacturing (3-D printing) within the naval supply chain. . Tese de Mestrado. Monterey, California: Naval Postgraduate School..

Figura 24
Rim, orelha e osso do dedo gerado por manufatura aditiva.
Fonte: Morgan, J. A., & Prentiss, J. M. (2014). *An analysis of item identification for additive manufacturing (3D printing) within the naval supply chain*. Monterey: California: Naval Postgraduate School.

3.3 O processo de tomada de decisão em cenário de incerteza

O cenário de mudanças céleres proporcionado pela Quarta Revolução Industrial leva a complexas situações de tomadas de decisões. Davenport (1998) preconizou isso, quando afirmava que o mercado de informação crescia de forma vasta e acelerada. Schwab (2016) confirmou, pontuando a utilização dessas informações de forma a mudar o mundo com novas ondas de descobertas que ocorrem simultaneamente e que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica, E toda tomada de decisão faz parte de um processo decisório, que cabe ao indivíduo definir o que

precisa e criar os seus mecanismos para o processamento das informações geradas e a convergência destas para a transformação em vantagem competitiva (Mcgee & Prusak, 1994).

E quando se fala em inovação, não é diferente. Mesmo com estruturas formais para a tomada de decisão, em qualquer organização toda escolha passa por análises subjetivas de caráter político ou outros comportamentos. E muitos dos problemas inseridos no processo da inovação passam por uma falta de perspectiva compartilhada sobre o produto ou serviço que estão sendo desenvolvidos. Daí a importância da construção de coalizões no processo de desenvolvimento da inovação (Tidd, Bessant & Pavit, 2015, p. 320).

Esses mecanismos que envolvem o processo decisório podem ser espelhados pelos modelos já estudados, cada qual pertinente à situação analisada. Entre os modelos existentes, o proposto por Choo (2003) caracteriza as tomadas de decisão em quatro vertentes: racional, processual, anárquico e político.

No modelo racional ocorre o privilégio das estruturas altamente burocráticas e as diretrizes da organização são definidas por regras formais. As regras e os procedimentos para a tomada de decisão já estão definidos. Parte-se sempre do pressuposto de um problema, das alternativas para sua solução, dos custos e vantagens da implementação de cada uma dessas alternativas e de como elas podem ser replicadas em situações similares. O monitoramento da alternativa escolhida finaliza o modelo decisório racional (Stoner & Freeman, 1992, p. 187-188).

A estrutura do processo decisório racional, apresentada na Figura 25, pode ser demonstrada pelas seguintes etapas: coleta das informações, análise criteriosa das informações, identificação de alternativas, opção pela melhor alternativa e alcance dos objetivos propostos na alternativa escolhida (Teodósio, Silva & Rodrigues, 2009, p. 2).

Figura 25
Processo decisório racional.
Fonte: Teodósio, A. S., Silva, E. E., & Rodrigues, F. R. G. (2009). *Discutindo o processo decisório: a contribuição dos principais modelos de análises*. Recuperado de http://www.mettodo.com.br/pdf/Discutindo%20o%20Processo%20Decisorio.pdf.

Já o modelo decisório processual, demonstrado na Figura 26, possui considerável número de elementos, sendo três fases decisórias principais, três rotinas de apoio à decisão e seis grupos de fatores dinâmicos que influenciam na decisão e podem surgir a qualquer momento no processo. As fases decisórias são: identificação, desenvolvimento e seleção. As rotinas de apoio são: rotinas de controle, rotinas de comunicação e rotinas políticas. E os fatores dinâmicos são: interrupções, adiantamento de prazos, *feedback*, ciclos de compreensão e ciclos de fracasso (Choo, 2003, p. 283, 287).

Figura 26
Processo decisório processual.
Fonte: Choo, C. W. (2003). A *organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões*. São Paulo: SENAC (425 p.).

No modelo de processo decisório anárquico não há clareza quanto aos objetivos e os procedimentos para se chegar às soluções dos problemas. As decisões são tomadas ocasionalmente quando ocorre o encontro entre a solução e o problema. Não existe uma estrutura definida para o processo decisório e as decisões ocorrem de três maneiras: resolução, inadvertência e fuga, como apresentado na Figura 27 (Choo, 2003, p. 297).

Figura 27
Processo decisório anárquico.
Fonte: Choo, C. W. (2003). A *organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões*. São Paulo: SENAC (425 p.).

O processo decisório político possui uma abordagem em que a decisão pode não ser racional e sim dependente dos interesses de atores pontuais, podendo ser ele individual ou até mesmo de grupos (Figura 28). Tem foco em disputas internas de poder e influência e pode ser influenciado pela vontade dos líderes em detrimento das verdadeiras necessidades da organização. A análise técnica para a tomada de decisão está presente, assim como o modelo racional, mas não é garantida caso não esteja em consonância com a vontade do indivíduo ou grupo influente na tomada de decisão (Teodósio *et al.,* 2009, p. 13).

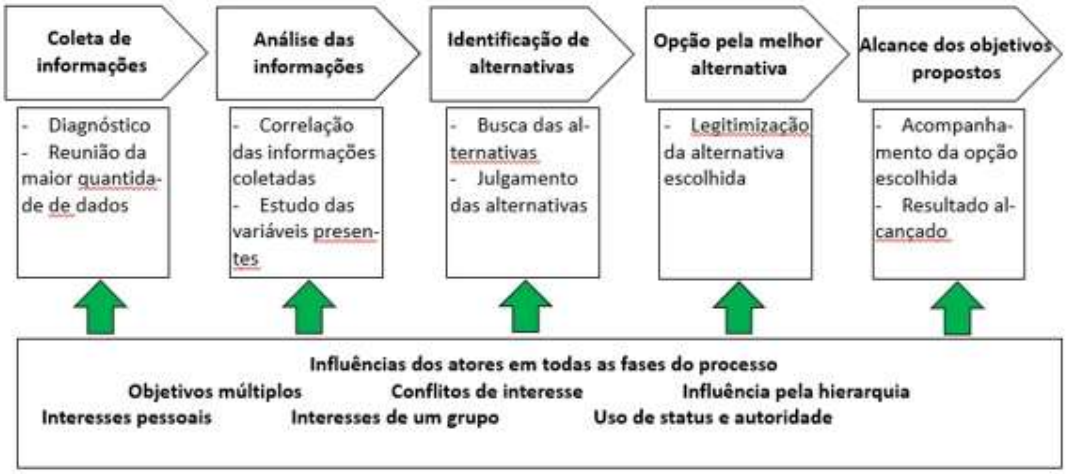


Figura 28
Processo decisório político.
Fonte: Teodósio, A. S., Silvam E. E., & Rodrigues, F. R. G. (2009). *Discutindo o processo decisório: a contribuição dos principais modelos de análises*. Recuperado de http://www.mettodo.com.br/pdf/Discutindo%20o%20Processo%20Decisorio.pdf.

3.4 A inovação no contexto da Indústria 4.0

Tida como conservadora, a indústria da mineração busca, assim como todas as organizações, inovar para aumentar sua competitividade. Embora todo executivo saiba da importância da inovação para o avanço de qualquer empresa, a prática da inovação requer a mudança do *status quo* e, com isso, a geração de insegurança, incertezas e até o medo do erro e suas consequências (Sutton, 2003).

O grande problema quando não se muda o padrão estabelecido, principalmente em momentos de ruptura como o atual momento da Quarta Revolução Industrial, é que o risco da obsolescência pode levar à forte queda de participação no mercado do negócio ou até mesmo à extinção deste (Christensen, 2002, p. 34). E a principal forma de mudar rapidamente esse cenário é modificar a estrutura da empresa de uma hierarquia da organização para a hierarquia das ideias (Hamel & Skarzynski, 2001, p. 19).

É incontestável a importância da inovação como diferencial competitivo em qualquer tipo de organização e isso não diz respeito somente às empresas de alta tecnologia. Exemplo disso é a empresa *Wurth*, que apesar de não ser de alta tecnologia, consegue manter o posto de maior fabricante de parafusos do mundo, mesmo com grande competição chinesa, devido ao seu “DNA” inovador em seus produtos e processos. A inovação é frequentemente associada ao sucesso, sendo

determinada como a grande característica que guindam as organizações a essa condição (Tidd *et al.*, 2015, p. 5).

Mas, enfim, o que é a inovação? Ter uma nova ideia ou aplicar uma ideia alheia de forma original, e isso pode não ter previsibilidade e pode dar errado, segundo Terra (2007, p. 29). Mas essa não pode ser confundida com invenção. A invenção é tão somente, apesar de importante, o início de um processo que, quando passa a gerar retorno financeiro e a ser aceito comercialmente ou popularmente, torna-se inovação (Tidd *et al.*, 2015). Para Davila, Epstein e Shelton (2007, p. 57), a inovação pode ser caracterizada de três formas: incremental, semirradical e radical.

As inovações incrementais acontecem predominantes nas indústrias e maioria das empresas, pois se trata de pequenas mudanças aplicadas a produtos ou processos, sem a necessidade de fazer mudanças significativas ou grandes investimentos.

Já as inovações semiradicais alavancam mudanças significativas nos processos que podem envolver mudanças na tecnologia da empresa ou até alteração do modelo de negócio. Em uma era onde a Quarta Revolução Industrial remete a liderança à necessidade de minuciosa observação das mudanças de cenários do mundo de negócios, as inovações radicais provocam significativas modificações, inclusive no mercado do qual participam, consistindo em mudanças de modelos de negócios e tecnologias das empresas (Davila *et al.*, 2007, p. 71).

As razões para inovar, principalmente no cenário da indústria 4.0, são inúmeras, mas os gestores ainda agem na prática, quando se trata de inovação, de forma a tentar equalizar dois conjuntos de dificuldades: demonstrar o retorno financeiro de investimentos tecnológicos para ativos empresariais intangíveis e lidar com a incerteza do retorno e a possibilidade do erro, o que ainda é visto como grande tabu nas organizações (Tidd *et al.*, 2015, p. 377).

Diante de todos esses conceitos, a gestão da inovação torna-se muito relevante para o sucesso de um modelo que foque em inovar. Sendo assim, o processo de inovação deve ser visto como um fluxo integrado que perpassa quatro fases distintas, sendo elas: a geração das ideias, a seleção, o desenvolvimento e a difusão da ideia, segundo a Figura 29 (Hansen & Birkinshaw, 2007).

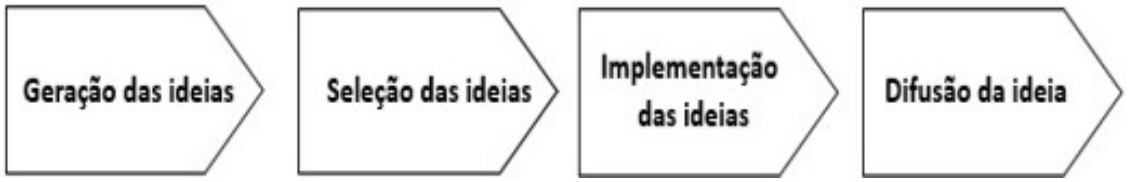


Figura 29
Fases da gestão da inovação, por Hansen e Birkinshaw.
Fonte: Hansen, M. T., & Birkinshaw, J. (2007 Jun.). The innovation value chain. *Harvard Business Review*, Boston, *85*(6), 121-130.

Outra forma proposta na gestão da inovação (Tidd *et al.*,, 2015) propõe como modelo as seguintes fases: a busca pela ideia inovadora, a seleção das melhores ideias, a implementação dessas ideias e a captura de valor, como apresentado na Figura 30.

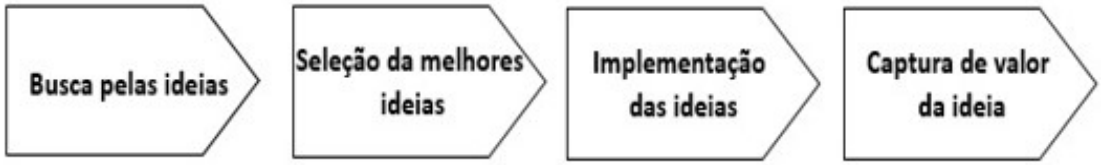


Figura 30
Fases da gestão da inovação, por Tidd e Bessant.
Fonte: Tidd, J., Bessant, J., & Pavitt, K. (2015). *Gestão da inovação*. Porto Alegre: Bookman.

Existe grande heterogeneidade de modelos para a gestão da inovação, sendo complexa a tentativa de sua compreensão. A gestão da inovação é vista como vital para a sustentabilidade dos negócios das empresas e deve ser estabelecida dentro de conceitos sólidos, delimitando objetivos, contexto competitivo e estratégia.

E no toante à gestão da inovação, é imperativo que a organização que busca se diferenciar tenha senso de propósito claramente compartilhado e articulado. É preciso que a liderança tenha o desejo de inovar. E a partir do engajamento da liderança é possível proporcionar adequada estrutura para a inovação, na qual indivíduos-chave, como promotores, defensores, facilitadores e tutores, façam parte de um organismo que energizem a inovação. Complementar a tudo, a promoção de toda a organização em atividades de melhoria contínua, pois assim a interação entre os diferentes níveis fica facilitada pelo entendimento do tema como comum, gerando mais *insights* e novos aprendizados e conhecimentos (Tidd *et al.*, 2015, p. 101-103).

A inovação não é uma atividade solitária, e para avançar é preciso muitos participantes. Um dos principais desafios de grandes organizacionais, principalmente das multinacionais, é a forma de conectar o grande grupo de talentos de seus quadros funcionais a favor de um ambiente colaborativo e inovador. Daí a importância de explorar conceitos como as redes por dentro, que consiste na garantia do diálogo entre pessoas dentro da mesma organização, para que possam compartilhar e expandir suas ideias. E não menos importantes são as redes por fora, cujos esforços em larga escala para pesquisa e desenvolvimento em um sistema fechado não mais atendem às necessidades de uma organização do século XXI. Por isso, a inovação aberta, com a participação de vários atores externos, torna-se fundamental para atingir processos acelerados de inovação (Tidd *et al.*, 2015. p. 298-299).

Em suma, a inovação pode ser tratada como um tema imprescindível para a sobrevivência de qualquer organização, e para isso tem que estar nas discussões da mesa da diretoria até o chão de fábrica. É um tema que abarca todos os setores de uma empresa, se não a necessidade de estar em sua cultura corporativa, permeando como um fator rotineiro e não sendo tratado como algo à parte do cotidiano (Van Rijnbach, 2007).

3.5 Contribuições do referencial teórico

Este item se propõe a orientar, diante da literatura consultada, lida e pesquisada, como esta será utilizada em seu suporte teórico na busca do objetivo principal da pesquisa a partir de seus objetivos específicos.

Dessa forma, para se chegar aos conceitos utilizados na Indústria 4.0 e em seguida analisar sua difusão no âmbito da unidade de análise, realizou-se uma revisão dos conceitos das três revoluções anteriores, sendo que a Primeira Revolução Industrial teve como base Hobsbawn (1977), a Segunda Revolução Industrial baseou-se em Mokyr (1998a; 1998b) e a Terceira Revolução Industrial contou com o suporte de Noble (2010). O objetivo foi que o pesquisador pudesse identificar nas respostas os conceitos efetivos da Quarta Revolução Industrial, por intermédio da Indústria 4.0, bem como aqueles conceitos considerados desta última revolução, mas que na realidade tratava-se das revoluções anteriores.

Em relação aos conceitos propriamente ditos da Indústria 4.0, reforçando que estes estão inseridos no ambiente da Quarta Revolução Industrial, o principal marco

teórico para as análises veio das leituras de Schwab (2016). Para o reforço desses conceitos e a verificação dos consequentes desdobramentos das frentes que mais avançam nas aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 no mundo, foram utilizados relatórios dos governos alemão (por intermédio da GTAI, 2012), americano (PCAST, 2011) e chinês (Merics, 2016).

Como forma de estabelecer um parâmetro, mesmo sabendo que estes variam entre algumas fontes, em relação às tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0, foi utilizado o estudo da CNI (2016a). Isso porque ele traduz o cenário Brasil, o que aproxima a realidade da pesquisa à realidade da unidade de análise, por se tratar esta de uma unidade de multinacional brasileira.

Por de tratar da Quarta Revolução Industrial, bem como um de seus desdobramentos, que é a Indústria 4.0, de algo que modifica a forma como as organizações agem e se relacionam, é que foi introduzido no referencial o aspecto de verificação da tomada de decisão da liderança em momentos de incertezas. E para explorar esses padrões foi feita uma leitura, para aprendizado nos modelos racional de Teodósio *et al.* (2009), processual de Choo (2003), anárquico de Choo (2003) e político de Teodósio *et al.* (2009). O intuito foi identificar se o processo decisório dos líderes passou por algum desses modelos. Enfatiza-se que este não é o objetivo principal desta pesquisa, mas pode abrir novas possibilidades de pesquisas para solucionar problemas de transição para a Indústria 4.0 em organizações de diferentes níveis e tamanhos.

Para analisar a gestão da inovação na unidade de análise, buscaram-se os conceitos de Tidd *et al.* (2015). E como funciona o processo de inovação, suas fases e quais os tipos de inovações são realizados na organização, baseou-se nos conceitos de Davila *et al.* (2007).

Esse embasamento analítico é exposto na Tabela 1, para que fique mais claro o entendimento do leitor. Nela está disposto o raciocínio lógico da pesquisa, direcionando a literatura com o intuito de atender aos objetivos estabelecidos. Literaturas complementares encontram-se por todo o corpo do texto, contudo, os autores expostos na Tabela são os principais pilares na construção dos questionamentos que trarão as respostas que serão analisadas no âmbito da Indústria 4.0. Não se pretende limitar a teoria a um tema de fronteira e abrangente, mas parte-se do princípio de que é necessário afunilar para que se possa fazer uma análise baseada em parâmetros mínimos.

Tabela 1

Resumo da base analítica do referencial teórico

Conceito	Referência
Primeira Revolução Industrial Segunda Revolução Industrial Terceira Revolução Industrial	Hobsbawn, 1977 Mokyr, 1998b Noble, 2010
Quarta Revolução Industrial e Indústria 4.0	Schwab, 2016 GTAI, 2012 PCAST, 2011 Merics, 2016
As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0	CNI, 2016a; 2016b
A Inovação no contexto da Indústria 4.0	Tidd *et al.*,, 2015 Davila *et al.*, 2007
O processo de tomada de decisão de líderes em cenários de mudanças e incertezas	Choo, 2003 Teodósio *et al.*, 2009

Fonte: elaborada pelo autor.

4 Metodologia

O capítulo referente à metodologia tem o objetivo de descrever os métodos e as técnicas utilizadas para a construção da pesquisa, assim como sua forma de abrangência.

4.1 Classificação da pesquisa

Propõe-se aqui a classificação da pesquisa de acordo com dois aspectos para o aprofundamento e entendimento dos temas propostos, sendo eles (Vergara, 2003, p .47):

a) Quanto aos fins: na busca de esclarecer quais fatores influenciam ou colaboram nas características de determinado, fenômeno fazem-se necessárias descrição e explicação do tema (Vergara, 2003). Como a pesquisa objetiva entender a propensão à adoção de tecnologias provenientes da Indústria 4.0, pode-se classificar a pesquisa como descritiva, pois tem o foco em descrever a compreensão desses profissionais;
b) quanto aos meios: para o atingimento do objetivo da pesquisa, foram utilizados três instrumentos, sendo eles:
    i. Questionário semiestruturado, para explorar os padrões de decisões adotados na organização durante a tomada de decisão de incorporação das tecnologias da Indústria 4.0, bem como a análise do conhecimento da liderança referente ao tema pertinente da pesquisa;
    ii. pesquisa documental, uma vez que foram analisados documentos, procedimentos, registros e pessoas da instituição, com o intuito de identificar o funcionamento administrativo na gestão das inovações, bem como essa interface com os atores envolvidos no processo;
    iii. esta pesquisa gerou um estudo de caso, limitado em unidades como pessoas, empresa e processos (Vergara, 2003).

4.2 A modalidade da pesquisa: qualitativa e estudo de caso

A abordagem deste trabalho é qualitativa, uma vez que não foram utilizadas técnicas estatísticas como base, e sim estudo de fenômenos de natureza social, na busca da compreensão destes. Sendo assim, o método adotado para a coleta de dados foi um questionário semiestruturado.

Já o método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso, para aprofundamento do tema em relação à empresa avaliada, pois essa técnica permite trabalhar com pouco objetivos, como os desta pesquisa, contudo, na busca de aprofundamento e detalhamento do tema (Gil, 2010).

4.3 Unidade de análise e sujeitos de pesquisa

A unidade de análise é a empresa Vale S/A., que atua no segmento de mineração, tendo sido feita uma análise sobre a liderança da empresa, compreendida no departamento determinado como Corredor Sudeste, que compreende as pessoas que trabalham nas minas, ferrovia e porto do trecho que se inicia nas minas do Quadrilátero Ferrífero, a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) e o Porto de Tubarão, localizado em Vitória-ES. A escolha foi definida pela liderança sênior da empresa e validada pela equipe de Recursos Humanos (RH), para que pudesse compreender a cultura organizacional de todo esse corredor e posterior proposição de desenvolvimento padronizado.

Os sujeitos de pesquisa foram os gerentes executivos, gerentes e supervisores que compõem a base da estrutura organizacional da mineradora Vale S/A. no Corredor Sudeste, entre Minas Gerais e Espírito Santo. A amostragem escolhida almejou representatividade de 3% dos líderes na referida função, número este estabelecido e determinado pela área de RH da empresa, durante apresentação de proposta da pesquisa e autorização para divulgação. E foi representada pelos seguintes números calculados da base de efetivo levantada no capitulo 2 deste estudo e apresentada a seguir: 20 supervisores; três gerentes; um gerente executivo

A base de dados, repassada pela área de RH, compõe a amostra de 10% de cada setor do Corredor Sudeste dividido em suas áreas: Mina, Ferrovia e Porto. Contudo, o RH estabeleceu que, para a amostra do estudo, o direcionamento e a linha

de corte seriam de representação de 3% de cada uma dessas áreas, número este que compôs o quantitativo proposto.

4.4 Técnicas de análise e coleta de dados

Como técnica de amostragem foi utilizado método não probabilístico intencional, cujo percentual de aplicações de formulários foi definido pela área de Recursos Humanos da empresa, utilizando como fonte primária para a coleta de dados da pesquisa uma entrevista qualitativa semiestruturada, com as perguntas totalmente abertas. O propósito foi não limitar nem direcionar as respostas dos entrevistados. O questionário tem seu roteiro em formulário no APÊNDICE A e buscou explicar a propensão da liderança a adotar as tecnologias provenientes da Indústria 4.0, assim como identificar padrões de tomada decisão para os momentos de incerteza dessa transição. O mesmo será aplicado nos sujeitos de pesquisa.

A gerência de RH da empresa estabeleceu que a análise e discussões dos resultados fossem discutidas com a referida equipe em reunião específica, para que fossem apresentados os resultados. A partir destes foi elaborado plano de ação em conjunto para o desenvolvimento dos líderes nos conceitos da Indústria 4.0 e para que fossem gerados conhecimentos que pudessem clarear habilidades necessárias para as lideranças estarem inseridas no contexto da Quarta Revolução Industrial. Após validação pela equipe de RH, a pesquisa foi liberada para divulgação.

Finalmente, apresenta-se na Tabela 2 uma síntese da estratégia de pesquisa com a relação entre os objetivos da pesquisa, os autores que deram suporte ao estudo e as questões do roteiro correlacionadas.

Tabela 2

Objetivos, referencial teórico e instrumentos de pesquisa

Objetivo da Pesquisa	Referências Utilizadas	Instrumento de Pesquisa
Analisar se os líderes conhecem e estão propensos a adotar inovações e tecnologias provenientes da Quarta Revolução Industrial no negócio de produção de minério de ferro da Vale S/A. no Corredor Sudeste, de Minas Gerais até o Espírito Santo.	Schwab, 2016 CNI, 2016a; 2016b Choo, 2003 Teodósio *et al.*, 2009 Stoner e Freeman, 1992 Tidd *et al*., 2015 Davila *et al.,* 2007	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11, 12,13,14,15,16,17,18 19,20,21,22,23,24
Analisar se os líderes da empresa conhecem temas propostos na Quarta Revolução Industrial e sua difusão no âmbito da organização.	Schwab, 2016 CNI, 2016a; 2016b	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
Analisar padrões adotados nas decisões dos líderes da organização na propensão à incorporação de inovações e tecnologias.	Choo, 2003 Teodósio *et al.*, 2009 Stoner e Freeman, 1992	11,12,13,14,15
Analisar as possíveis relações entre os atores envolvidos e o funcionamento da estrutura administrativa para a incorporação de inovações e tecnologias.	Tidd *et al.,* 2015 Davila *et al.,* 2007	16,17,18,19,20,21,22,23,24

Fonte: elaborada pelo autor.

5 Análise e Discussão dos Resultados

Este capítulo relata os resultados da entrevista feita, com base no formulário de pesquisa qualitativa semiestruturado, com os sujeitos de pesquisa caracterizados no item 3.3 da metodologia.

A fim de organizar a análise dos dados, assim como a apresentação dos resultados que respondem aos objetivos da pesquisa, este capítulo está distribuído em blocos conforme o roteiro da pesquisa, sendo que o primeiro bloco consta das perguntas 1 a 8 e buscou entender a conceituação e difusão da Indústria 4.0 na unidade de análise. As perguntas 9 a 15 tiveram o fito de entender como os líderes decidem no cenário de mudança da Quarta Revolução Industrial e as perguntas de 16 a 20 analisaram os atores e a estrutura administrativa para a inovação na empresa.

5.1 Conceituação e difusão da Indústria 4.0 na unidade de análise

As oito primeiras questões da entrevista visaram explorar o conhecimento do conceito da Indústria 4.0 pelos líderes da unidade de análise na perspectiva de inovação para uma organização, assim com a difusão desses conceitos na organização representada pela unidade de análise.

Na primeira pergunta: 1 - Para você, o que significa o termo Indústria 4.0? – que é um questionamento direto –, foi possível perceber que os sujeitos da pesquisa associam o termo Indústria 4.0 a uma nova revolução que está ocorrendo no meio industrial associada a mudanças tecnológicas que englobam várias tecnologias, muitas dessas não sendo convencionais e inovadoras para os segmentos industriais.

> [...] Utilização de novas tecnologias não convencionais. [...]
>
> [...] Uma nova Revolução Industrial com foco nas inovações. [...]
>
> [...] Trata-se da Quarta Revolução Industrial, onde os sistemas fabris se conectam ao mundo virtual [...]
>
> [...] Na minha visão, Indústria 4.0 significa uma revolução que engloba várias tecnologias [...]

O exposto corrobora o conceito de Schwab (2016), que detalha a criação de fábricas inteligentes (*Smart Factories*) em uma lógica de produção condicionada à

integração de inovações em vários campos tecnológicos. Essa integração faz parte do segmento delineado para o processo de manufatura determinado como Indústria 4.0 como parte do segmento industrial para a Quarta Revolução Industrial.

Já para a segunda pergunta: 2 - Quais são os países precursores da Indústria 4.0?, foi elaborada uma nuvem de palavras a partir das respostas, para identificação do grupo analisado, apresentada a seguir na Figura 31.

Figura 31
Nuvem de palavras com os países precursores da Indústria 4.0.
Fonte: dados da pesquisa

Como pode ser observado na Figura 31, 12 países foram citados como precursores da Indústria 4.0, quantitativo este que destoa da literatura de referência, que prediz a existência de três países predominantes no desenvolvimento da Indústria 4.0, sendo eles: China, Alemanha e Estados Unidos (Firjan, 2016, p. 7; GTAI, 2016, p. 16; PCAST, 2011, p. 17).

Contudo, o padrão de respostas do grupo se aproxima desses três países precursores, devido a estes terem sido os mais citados, com exceção da inclusão do Japão.

Para a terceira pergunta: 3 - Qual o principal impulsionador inovador da Quarta Revolução Industrial/Indústria 4.0?, as respostas dos entrevistados apresentaram padrão variado, citando temas como Internet das coisas, automação, máquinas inteligentes e inteligência artificial. Nenhum dos respondentes referiu a digitalização, como estabelecido no referencial teórico, como o grande impulsionador, conforme

afirmado por Schwab (2016, p. 18). Esse autor considera a digitalização como grande marco na transição entre a Terceira e a Quarta Revoluções Industriais. Observa-se que há certa confusão entre tecnologia e impulsionador.

As perguntas 4, 5 e 6 procuraram identificar as tecnologias inovadoras utilizadas nas áreas dos respondentes, bem como seu conhecimento sobre as tecnologias provenientes da Indústria 4.0 e a velocidade de implantação destas em suas áreas. As respostas à pergunta 4 - Quais tecnologias inovadoras você utiliza em sua área? - mencionam tecnologias que ainda são relativas ao período da Segunda e Terceira Revoluções Industriais. Trata-se de sensores anticolisões de equipamentos, interface homem-máquina (IHM), automação de processos e leitura *online* de parâmetros, que são possíveis pela redução dos preços dos computadores e incorporação de microprocessadores às estruturas físicas dos equipamentos, implantação de redes e difusão de automação em esfera industrial (Perez, 1985).

Existem algumas iniciativas embrionárias de Indústria 4.0, como *Analytics Advanced,* para tomada de decisão mediante medição de parâmetros e tecnologia já consolidada e citada por vários respondentes, que é o veículo autônomo fora-de-estrada, com a associação da inteligência artificial com Robótica Avançada.

Quando os respondentes tratam das tecnologias disponíveis no mercado que eles associam à Indústria 4.0, nas enquadradas como habilitadoras pela pesquisa da CNI (2016a): Internet das coisas, *big data*, Robótica Avançada, computação na nuvem, inteligência artificial, materiais inteligentes e manufatura aditiva, as mais citadas foram a inteligência artificial e a Robótica, obtendo menos citações a computação na nuvem, materiais inteligentes e Internet das coisas. Como complemento na análise*, big data* e manufatura aditiva não foram lembradas. O COPIN referenda essa informação quando alerta que os conceitos das tecnologias habilitadoras ainda são pouco difundidos na indústria brasileira (CNI, 2016a).

Em relação à aderência da área às tecnologias provenientes da Indústria 4.0, pode ser comprovado nas respostas que, apesar de algumas iniciativas, essa aderência é muito reduzida e esbarra em desconhecimento das tecnologias propriamente ditas e priorização de outros projetos. E para aquelas áreas que já entendem e desejam utilizar, ainda existem barreiras de infraestrutura em tecnologia da informação (TI). Fica clara a necessidade de senso de propósito e direcionamento estratégico no sentido de unidade em torno de inovação de ponta no contexto da Indústria 4.0 (Tidd *et al.,* 2015).

A pergunta 7 - Se caracterizarmos as inovações em radical, semirradical e incremental, qual tipo de inovação ocorre com mais frequência em sua área? - investigou o conhecimento dos líderes nas caracterizações das inovações que ocorrem em suas áreas. Na Figura 32 infere-se que 79% dos líderes consideram que as inovações que ocorrem em suas áreas são incrementais, 21% acham que realizam inovações semirradicais e nenhum respondente considerou que realize inovação radical.

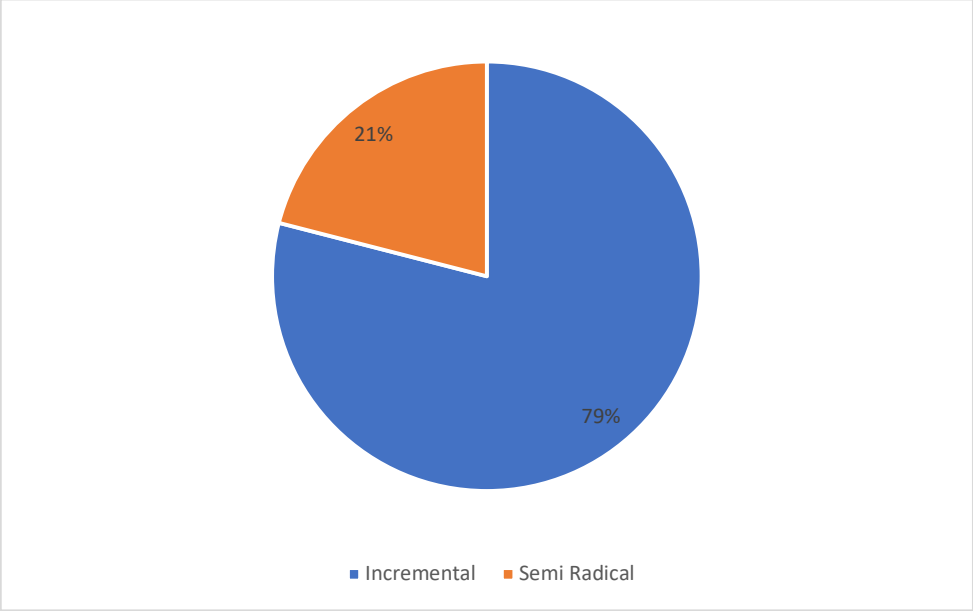


Figura 32
Tipo de inovação na unidade de análise.
Fonte: dados da pesquisa.

O resultado dessa resposta corrobora o conceito de Davila *et al.* (2007), que pontua a predominância das inovações incrementais nas indústrias, por estas constituírem pequenas mudanças em produtos ou processos, sem a necessidade de mudanças significativas ou grandes investimentos. Por serem um setor estabelecido e convencional, as inovações semirradicais e radicais, que implicam mudanças de modelo de negócio, são menos propositivas.

E na pergunta 8 - Em sua opinião, qual a importância de inovar no cenário da Quarta Revolução Industrial/Indústria 4.0?, encerrando esta seção que propôs explorar o conhecimento dos líderes dos conceitos da Indústria 4.0 permeando os conceitos de inovação, as respostas predominantes tratam da questão de manter a competitividade, e a manutenção da sobrevivência da empresa no ambiente da Quarta

Revolução Industrial. É importante registrar que a percepção dos líderes tem seu embasamento na literatura, quando se é proposta como grande problema de qualquer indústria a não adaptação às mudanças de cenário e do padrão estabelecido, podendo esse comportamento conservador levar à queda de competitividade no mercado, obsolescência e até mesmo extinção do negócio (Christensen, 2002, p. 34).

5.2 Como os líderes decidem no cenário de mudança da Quarta Revolução Industrial

Nesta seção, as perguntas buscaram identificar o processo decisório dos líderes inseridos no cenário de mudança da Quarta Revolução Industrial.

A pergunta 9 - Qual sua propensão a adotar as tecnologias provenientes da Indústria 4.0 nos próximos dois anos? - foi respondida na quase totalidade, fornecendo um panorama favorável. Demonstrou-se que a liderança está interessada em obter os benefícios da introdução de novos métodos, em que despontam o interesse em ganhar na segurança das atividades das pessoas e o aumento de produtividade dos processos. Tidd *et al.* (2015) reconhecem a energia como uma característica importante para vencer a inércia e começar a mudar as ordens das coisas. As respostas a essa pergunta sugeriram a energia necessária para trilhar esse caminho, mas com um pouco de desorientação do que deve ser feito.

Essa propensão abordada na pergunta 9 pôde ser confirmada pelas respostas da pergunta 10 - Se a adoção das tecnologias provenientes da Indústria 4.0 gerasse impacto em redução de 50% do seu quadro efetivo de empregados, qual seria sua propensão a implantar essas tecnologias? Com base nas respostas a essa pergunta, verificou-se que existe preocupação com a realocação da mão de obra, que entrará em ociosidade a partir da implantação das tecnologias provenientes da Indústria 4.0. Ressalta-se com clareza a necessidade de adoção das tecnologias para a sobrevivência e competitividade do negócio, com o real reconhecimento de que a Quarta Revolução já está em curso e as decisões que devem ser tomadas para o ingresso nesta não têm volta.

Para amenizar o impacto sobre os empregos, os líderes propõem capacitação das equipes para que sejam reaproveitados em novas funções que surgirem a partir da introdução de novas tecnologias. Pode ser considerada como amparo para essa tomada de decisão a questão da visão compartilhada e do comprometimento da alta

gestão para o sucesso da mudança radical. O principal desafio é traduzir esse conceito em realidade, de forma que qualquer mudança seja realizada de forma bem orquestrada e com o mínimo impacto possível (Tidd *et al.,* 2015, p. 104).

A pergunta 11 - Chegado o momento da transição para a Indústria 4.0, como você se estrutura para tomar a decisão de investir em novas tecnologias? - estabelece a condição de que o líder já está no cenário da revolução e, para tal, as respostas estabelecem em seu conjunto alguns parâmetros e até mesmo critérios para balizarem as decisões a serem tomadas. A citação de busca de leitura, nivelamento do tema, busca de conhecimento, estabelecimento de custo-benefício, realização de *benchmarking* por meio de visitas em outras unidades e definição e direcionamento de investimentos pode ser resumida na estruturação em: busca pelo conhecimento, preparação da liderança e da equipe e experimentação de tecnologias para posterior adoção.

Percebe-se que mesmo não tendo toda uma linha completa de um processo decisório, o que não é objeto principal desta pesquisa, podem ser observadas a criação de mecanismos para o processamento das informações geradas e a busca da convergência desta para a tomada de decisão (Mcgee & Prusak, 1994). Além disso, quando se estabelece a busca pelo conhecimento, que é um mecanismo de coleta seguido da preparação da liderança, ela pode estar inserida no processo de análise de informações e identificação de alternativas. Finda-se com a experimentação e adoção das novas tecnologias, que pode caracterizar a opção pela melhor alternativa e o alcance dos objetivos propostos. Podem ser configurados aqui fragmentos do processo decisório racional de Teodósio *et al.* (2009).

Já as respostas à pergunta 12 – Você aguarda orientação de seu líder imediato ou sempre se antecede e propõe mudanças em sua área? Explique como funciona o processo de tomada de decisão sob sua gestão. - demonstraram que existe um nível de autonomia nas ações executadas pelos líderes da empresa, sempre com validação pela hierarquia superior. Em sua grande parte, há a proposição de inovação por parte de qualquer membro da equipe. Após essa etapa acontecem a coleta de dados e comparações dessas informações com dados históricos, na busca por similaridade e diferenciações que auxiliem na tomada de decisões.

Reuniões ocorrem periodicamente para verificações e validações de dados. Também é estabelecido controle à medida que se verifica o avanço da solução proposta, que tende a ficar burocratizada e pode ser um limitador da velocidade da

implantação da solução. Isso porque se prioriza atingir as metas das etapas em detrimento da experimentação dos avanços da solução. Observou-se que as etapas seguidas pelo grupo de líderes possuem alguns elementos do modelo decisório processual de Choo (2003), destacando-se a etapa de identificação, desenvolvimento e seleção, assim como as rotinas de controle. Nas respostas não foi possível identificar as rotinas de comunicação e políticas, sendo também identificados fatores como interrupções e *feedback*.

No tocante à pergunta 13 - Você considera que disputas internas podem influenciar a adoção das tecnologias provenientes da Indústria 4.0?, os respondentes revelaram que existem conflitos de prioridades entre áreas corporativas e operacionais, o que não chega a impactar o resultado final de uma solução, mas provoca postergações e adiamento de prazos, impedindo a impressão de mais velocidade no desenvolvimento das soluções. Apurou-se um ambiente de competitividade *versus* colaborativo e alguns respondentes consideram que disputas internas são boas e servem como combustível para inovar e procurar melhores resultados.

Não foram identificados elementos que tenham comprovado a existência na tomada de decisão do modelo decisório político proposto por Teodósio *et al.* (2009). Esse modelo sustenta-se na base do processo racional, desde que este esteja convergindo para a vontade dos líderes e pelo poder da influência. As argumentações para a elaboração e qualificação das ideias geradas podem ser melhoradas. A construção de coalizões para romper barreiras hierárquicas e estabelecer uma hierarquia de ideias tem espaço para avanços e melhorias dos resultados de inovações a partir de melhores tomadas de decisões (Tidd *et al.*, 2015. p. 320).

Para a pergunta 14 - Qual o nível de aderência dos líderes operacionais aos direcionamentos propostos pela diretoria executiva da empresa?, constatou-se forte hierarquização, cujas diretrizes propostas pela alta liderança são compreendidas e aplicadas pelas lideranças nas pontas. Existem pontos de melhorias propostos pelos respondentes, como a melhoria da comunicação corporativa, mais velocidade na comunicação de mudanças e mais clareza no processo de inovação da empresa, mas em sua grande maioria é percebido o esforço da alta liderança para vencer essas barreiras e tornar o ambiente cada vez mais transparente, com regras claras de governança e *compliance*. Isso corrobora o conceito do modelo racional de Stoner e Freeman (1992), no qual as regras e os procedimentos para tomadas de decisão já

estão estabelecidos e são extremamente burocráticos, privilegiando a hierarquia da organização com excessiva formalidade.

A pergunta 15 - Estando você diante de uma nova tecnologia que você não domina, mas está sendo orientado a implementar nos próximos seis meses com várias incertezas, qual seu nível de aderência? - comprovou que a maioria dos líderes, mesmo com incertezas e necessidade de busca de algumas informações, apresenta grande aderência à implantação de novidades que ainda desconhecem, como as tecnologias provenientes da Indústria 4.0. Conforme pode ser observado na Figura 33, 64% dos líderes demonstram adesão total e sem restrições, com possibilidade de implantação imediata. Restrições como a necessidade de melhor alinhamento de informações, busca de mais dados e reuniões com a alta liderança foram manifestadas por 18% dos líderes. O somatório desses dois grupos atingiu percentual de 82% dos líderes operacionais. Por conseguinte, um grupo de 18% não aderiria de forma alguma nesse cenário de incerteza e só o fariam com todos os dados disponíveis ou mediante proposta já consagrada em outra área, setor ou empresa.

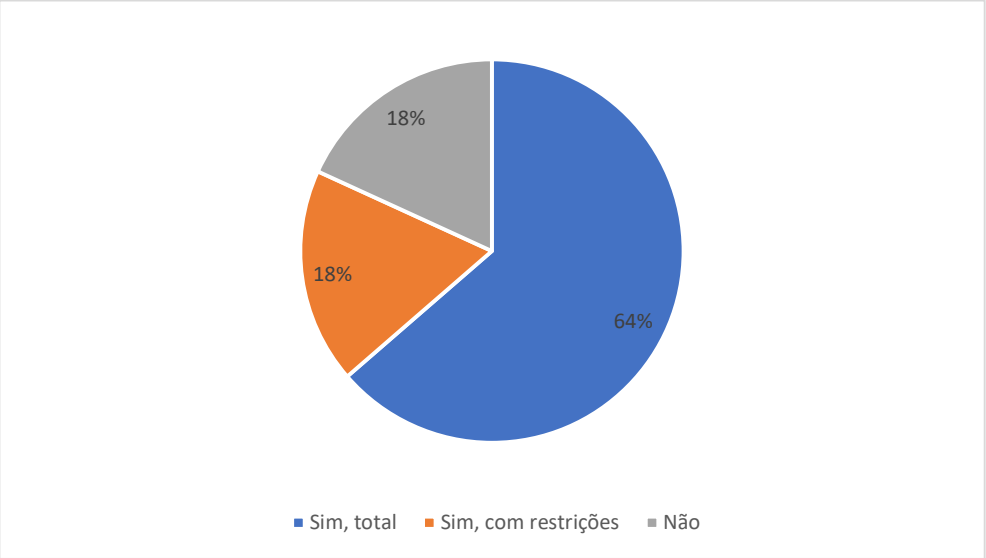


Figura 33
Aderência a novas tecnologias desconhecidas.
Fonte: dados da pesquisa.

5.3 Os atores e a estrutura administrativa para a inovação na empresa

A busca pelo entendimento de como o processo de inovação e a interação deste com os atores envolvidos no processo fizeram parte das perguntas feitas nesta seção.

E a seção é aberta com a pergunta 16 - Como funciona a gestão da inovação em sua área? Esta apresentou resultados difusos, com várias respostas diferentes, denotando não haver convergência da coordenação de inovação para um setor específico.

> [...] Existe um grupo específico de pesquisadores. Parcerias com universidades. [...]
>
> [...] Utilizamos a filosofia Lean. [...]
>
> [...] Temos um programa coordenado pela equipe de qualidade, qualidade total, Isso. [...]
>
> [...] especialistas (analistas e engenheiros) através das SAT/RET e acompanhadas pela área de suprimentos. [...]
>
> [...] Funciona através da coordenação da área de TI. [...]

Observando essa amostra de respostas, abstraiu-se que o modelo praticado pela organização contraria o conceito de Hamel & Skarzynski (2001), que sugere uma hierarquia de ideias em contraponto a uma hierarquia da organização, item já observado na pergunta 14. Pelas respostas obtidas constatou-se que vários atores estão envolvidos no contexto da inovação, porém, sem conversarem entre si. Alguns consideram que a gestão da inovação é feita pela área de TI, outros pela área de qualidade, outros pela área Lean. E há os que acreditam haver um grupo específico, diferente de todos os anteriores, ligado diretamente a universidades, ou seja, não há uma padronização de conceito e convergência de ações para a gestão da inovação da empresa. Segundo Tidd *et al.* (2015), precisa existir uma conexão interna para a criação do propósito e, assim, a gestão da inovação fluir. O engajamento da liderança e a partir deste uma estrutura adequada para a inovação formam um organismo para que as atividades de melhoria contínua ocorram em todos os níveis.

Já diante da geração de uma ideia, a pergunta 17 - Quando uma ideia é gerada em sua área, qual o processo que ela percorre até ser implantada? -, por se tratar de uma pergunta aberta, proporcionou ao respondente a possibilidade de relatar, na sua percepção, qual é o modelo e e quais as etapas percorridas por uma ideia no processo

de inovação da unidade de análise. A partir das respostas obtidas, foram agrupados 12 padrões de respostas, entre as quais algumas identificaram somente uma etapa, até respostas que proporcionaram sete etapas. A Tabela 3 exibe uma variação de sequências que revela não existir padronização nem clareza nas etapas sequenciais por onde percorre uma ideia gerada na unidade de análise. Essa é uma boa oportunidade de acelerar a melhoria contínua com o estabelecimento de um padrão mínimo com algum modelo já consagrado proposto.

Tabela 3

Sequência percorrida por uma ideia gerada na unidade de análise

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7
Avaliação de gestores	Aprovação/ reprovação					
Geração	Análise	Aprovação/ reprovação	*Feedback*	Cadastro	Implantação	Divulgação
Engenharia						
Análise viabilidade	Projeto	Aquisição	Implantação	Acompanhamento		
Avaliação Gestor	Implantação					
Geração	Protótipo	Elaboração	Testes	Aplicação		
Geração	Projeto	Execução				
Geração	Análise	Aprovação/ reprovação	Implantação			
Geração	Aprovação/ reprovação	Engenharia	Segurança	Ergonomia	Implantação	
Geração	Aprovação/ reprovação	Execução				
Geração	Análise	Aprovação/ reprovação	Implantação	Divulgação		

Geração	Aprovação/ reprovação	Implantação

Fonte: dados da pesquisa.

Em nenhuma das respostas apresentadas foram encontrados os fluxos de inovação propostos por Hansen & Birkinshaw (2007) ou Tidd *et al.* (2015), sendo que algumas etapas são apresentadas, nenhuma em sua completude. O que pode ser observado é a forte necessidade da etapa aprovação/reprovação, que denota a hierarquização da organização em contraponto à hierarquização das ideias já comentada na resposta anterior.

A pergunta 18 - Você considera sua empresa inovadora? Por quê? - gerou um gráfico, apresentado na Figura 34, no qual 68% dos líderes consideram a unidade de análise inovadora e 32% pensam o contrário. Os que responderam que a empresa é inovadora basearam-se nas iniciativas da empresa de estabelecimento de um instituto de tecnologia (Instituto Tecnológico Vale - ITV), os investimentos em grandes inovações como a Mina Autônoma e o Centro de Inteligência artificial, mas em sua maioria fizeram a ressalva de que esses investimentos ainda são setorizados e não aplicáveis a todos. Já os que não consideram a empresa inovadora o fizeram com base na baixa velocidade e aplicação e replicação das inovações realizadas em vários locais, porém sem ampla divulgação.

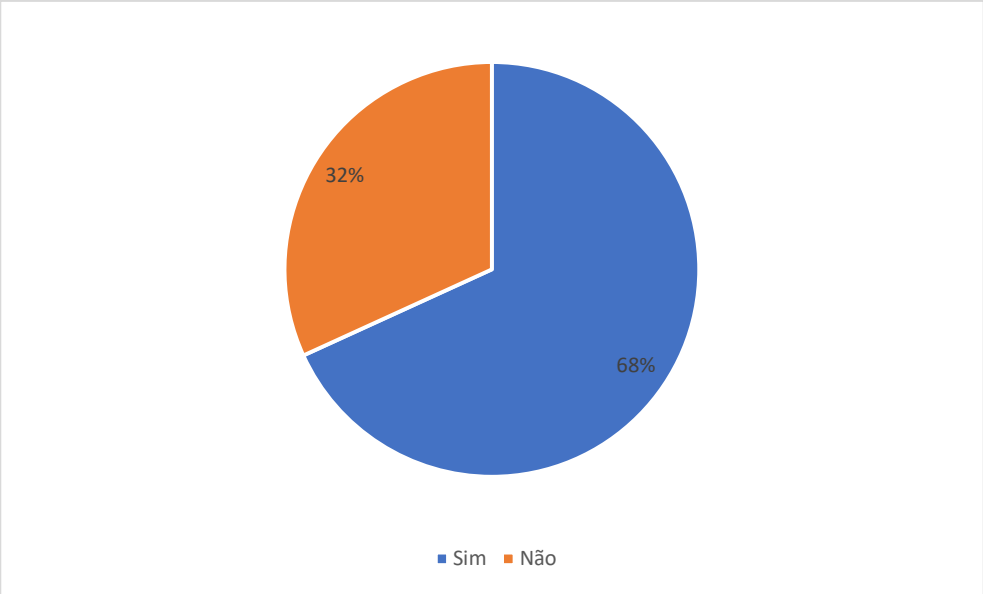


Figura 34
Você considera sua empresa inovadora?
Fonte: dados da pesquisa.

O modelo de Hansen & Birkinshaw (2007) contempla a fase de difusão como uma importante etapa do fluxo de inovação, sendo essa uma constatação dos respondentes para não considerar a empresa inovadora. Para grandes empresas, como a pesquisada, vencer o desafio de rápida replicação pode se apresentar como um diferencial competitivo na aceleração de implantações de soluções integradas.

Diante da pergunta 19 - Qual o nível de interação entre sua área e as áreas de suporte à inovação de sua empresa? -. foi possível categorizar as respostas dos líderes em três categorias: baixa, moderada e alta, os quais têm o seu resultado apresentado na Figura 35 com os seguintes escores: 50% consideram a interação moderada, 32% consideram baixa e 18% consideram alta. Isso demonstra que 82% dos líderes operacionais identificam grandes oportunidades de avanços com o aumento da interação entre as áreas operacionais e a área de inovação. Mais uma vez se apresenta a necessidade de criação de bons argumentos de negócio de ideias e o conceito de formação de construção de coalizões. Aqui é exposto um novo fator, que é a necessidade de se realizar uma clarificação na estratégia de inovação da empresa, com clareza no desenvolvimento das competências, capacidades dinâmicas e trajetórias tecnológicas (Tidd *et al.*, 2015, p 161-187).

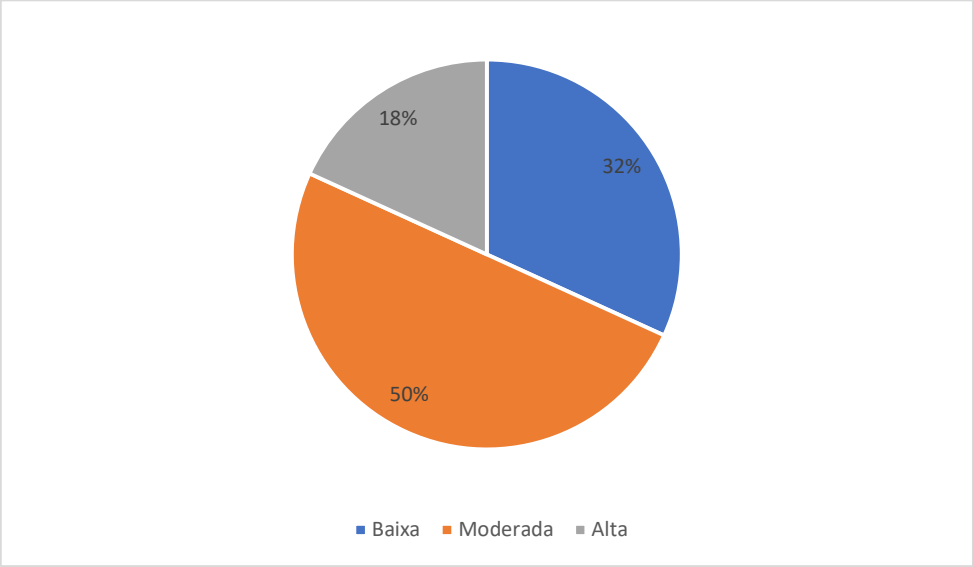


Figura 35
Interface entre área operacional e área inovação.
Fonte: dados da pesquisa.

Para a pergunta 20 - Quais os parceiros mais importantes que você considera para a realização de inovações em sua área? -, as respostas apresentadas confirmam forte tendência a citar parceiros internos à empresa. E isso demonstra baixa relação com comunidades externas e ecossistemas de inovação, ficando as relações externas ligadas a fornecedores e algumas parcerias com universidades por intermédio do ITV. Uma vez que a inovação é uma atividade que requer muitos participantes, inclusive com atores de dentro e de fora da rede, é possível verificar as oportunidades de ganhos com a inserção destes no ambiente colaborativo da empresa. Nenhum respondente citou uma *startup* como uma possível parceira, sendo que estas fazem já fazem parte de grandes ecossistemas de inovação, inclusive com parcerias com a empresa pesquisada. Mas observa-se que o conhecimento não é difundido de forma que todos saibam deduzir os benefícios de envolvimento de todos esses atores. A aceleração do processo de inovação depende da participação de vários atores, internos e externos, com suas funções e papéis bem definidos (Tidd *et al.,* 2015. p. 298-299)

6 Considerações Finais e Recomendações

Este capítulo relata as conclusões de trabalho pela ótica do pesquisador acerca da análise e interpretação dos dados levantados, bem como as contribuições das análises da equipe de RH da Vale, que se propôs a dedicar à leitura da dissertação e apresentar, em conjunto, ações que pudessem contribuir para o desenvolvimento dos líderes na temática Indústria 4.0. Aqui também tem a proposição de indicar as limitações e contribuições da pesquisa.

6.1 Resultados

Para o alcance do objetivo geral da pesquisa, buscou-se analisar como os líderes conceituam, bem como sua propensão para a adoção das tecnologias provenientes da Indústria 4.0, inseridas no contexto da Quarta Revolução Industrial.

Em relação ao conceito inicial sobre o que é a Indústria 4.0, os respondentes têm clareza de que esse conceito é algo muito novo e realmente inovador, sendo, inclusive, uma nova forma de pensar e realizar atividades em suas rotinas diárias.

Para eles, trata-se de uma revolução que está acontecendo no meio industrial. No entanto, em relação à origem da Indústria 4.0, observou-se que existe boa noção dos três países precursores dessa filosofia, sendo eles a Alemanha, os Estados Unidos e a China. Mas vários outros países foram citados, inclusive com destaque para o Japão, o que não corresponde a um fato. Isso demonstra que é possível avançar nesse conhecimento para a equipe de líderes. Fato comprovado quando estes são questionados sobre o impulsionador desses novos tempos e nenhum deles reconhece a digitalização como o grande fator de mudança da Terceira para a Quarta Revolução Industrial. A falta desse conceito básico impede que os líderes pensem em soluções digitalizadas para processos analógicos, fator este que já ocorre em outros grandes *players* mundiais de variados segmentos da indústria.

Quando os respondentes são instados a correlacionar as tecnologias inovadoras disponíveis em suas áreas, com as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, assim como a aderência de suas áreas a essas tecnologias, pode-se entender que as tecnologias utilizadas atualmente por todos os setores são basicamente as provenientes da Segunda e Terceira Revoluções Industriais. Os entrevistados as consideram inovadoras, algumas vezes por desconhecimento de outras mais avançadas e outras vezes por compreenderem que o ciclo da inovação em seus departamentos é diferente do ciclo de inovação fora deste.

Mas quando a resposta se refere às tecnologias disponíveis no mercado associadas à Indústria 4.0, os respondentes têm clareza de que a inteligência artificial e a Robótica Avançada já ocorrem ao redor do mundo industrial, apesar de não possuírem ainda aplicações em suas áreas, com exceção da tecnologia de mina autônoma, citada por vários respondentes, mas que ainda tem uma pequena escala no negócio da unidade de análise. Com isso, a aderência das áreas pesquisadas em relação às tecnologias habilitadoras é muito reduzida, pois esbarra em desconhecimento das tecnologias e, ainda, priorização de outros tipos de projetos. Também foram mencionadas barreiras devido à necessidade de melhoria na infraestrutura de tecnologia da informação.

Em relação aos tipos de inovação, as respostas dos líderes confirmam a literatura e, em sua grande maioria, as inovações que ocorrem nas áreas são incrementais e muitas vezes associadas a processos e menos em produtos. A inovação radical não foi citada por algum respondente, o que confirma o caráter conservador do segmento da indústria de mineração. Os líderes enxergam a

importância da inovação como forma de diferencial competitivo e para a manutenção da sobrevivência da empresa. Associam que se nada for feito no contexto da Quarta Revolução Industrial, os seus setores e, consequentemente, a empresa poderão perder produtividade e aumentar seus custos de produção, o que não é bem-visto em um ambiente de mercado no qual a eficiência é palavra-chave e atitude necessária para sobrevivência.

Na busca da propensão dos líderes em adotar as tecnologias provenientes da Indústria 4.0, apurou-se que a liderança não impõe alguma dificuldade a essa condição e apresenta um panorama totalmente favorável a essa questão, inclusive colocando como prioridade a segurança do trabalho das pessoas e como segunda importância o ganho de produtividade nos processos. E isso é corroborado quando estes são questionados quanto à necessidade da redução de 50% do efetivo de pessoas para adoção das tecnologias. Mesmo opinando sobre questões sociais importantes como a necessidade de preparação das pessoas para uma transição, seja qualificando ou realocando, eles se apresentam propensos a adotar as tecnologias.

Um fator interesse é que os líderes reconhecem, nesse momento de transição, a necessidade de se qualificarem para liderar esse processo de mudança a partir da busca pelo conhecimento, preparação da liderança e experimentação de novos modelos para aceleração de desenvolvimento. Mesmo havendo um nível de autonomia para esses líderes operacionais, ainda há um grande alinhamento hierárquico e as decisões ainda dependem de regras. Este é um limitador de velocidade para a inovação, assim como a necessidade de clareza nos propósitos referentes à inovação e a melhores construções de coalizões a favor do processo de inovação. Nas tomadas de decisões dos líderes podem ser encontrados fragmentos do modelo decisório racional de Teodósio *et al.* (2009), assim como do modelo decisório processual de Choo (2003). E mesmo nesses modelos os líderes se manifestam favoráveis a realizar mudanças em cenários de incertezas, contando apenas com a necessidade de um direcionamento inicial.

Quando se trata de entender como funciona a gestão da inovação e os atores nela envolvidos, percebe-se que o processo é difuso, não havendo coordenação e convergência de propósitos, existindo vários atores reconhecidos como detentores das diretrizes do processo de inovação, o que muitas vezes proporciona barreira à evolução desse tema na liderança operacional. Isso pode ser confirmado pela

quantidade de passos aludidos pelos respondentes quando questionados sobre o caminho de uma ideia na unidade de análise.

A dispersão de etapas demonstra que há fragilidades no processamento das ideias, com isso gerando importante oportunidade de desenvolvimento de melhorias e inovações, pelo aproveitamento dos talentos multivariáveis existentes em uma multinacional. Mesmo assim, os respondentes consideram a empresa inovadora, até porque, pela sua grandeza, o investimento em inovação tem valor considerável, mas os líderes operacionais vislumbram que estes podem ser mais bem direcionados. E uma das formas de se fazer isso é pela aproximação das áreas que realizam a gestão da inovação das áreas operacionais, pois, conforme apresentado nos resultados, a visão das áreas operacionais é de que essa interação é muito baixa e mais aproximação proporcionaria satisfatório direcionamento das melhorias e a aceleração do processo de gestão da inovação.

Para finalizar a análise dos autores, confirmou-se que o processo de inovação é muito centrado nas redes internas, havendo ocorrências externas, mas de maneira pontual. Chama a atenção o fato de nenhum dos respondentes ter citado as *startups* como parceiras para aceleração de inovação. Isso demonstra a grande oportunidade que a unidade de análise tem de evoluir com seu processo de gestão da inovação com ganhos significativos em seus resultados operacionais e financeiros.

Como parte da metodologia proposta, o presente trabalho foi apresentado e discutido com a equipe de RH da empresa, com a presença das gerências regionais e, após as discussões, foram deliberadas as seguintes ações, as quais já foram realizadas:

a) Elaboração de um videotreinamento básico para os líderes da empresa, sobre a Indústria 4.0, que foi disponibilizado na Universidade Corporativa.
b) Elaboração de *Ebook* para distribuição a todos os empregados da empresa por intermédio do Portal da Liderança, sendo este o meio digital de distribuição de conhecimento da organização.
c) Apresentação de palestras sobre o tema Indústria 4.0, por parte do autor deste trabalho, em Academias de Liderança internas, por meio das Feiras de Carreiras proporcionadas aos empregados da empresa.

6.2 Limitações da pesquisa

As limitações desta pesquisa se dão em torno da unidade de análise, o caráter desta, bem como dos sujeitos da pesquisa e mesmo em seu foco dos objetivos.

A unidade de análise representa a região onde os profissionais de liderança operacional trabalham, sendo este o corredor entre Minas Gerais e Espírito Santo, sendo assim, não representando a empresa como um todo, sequer todo o segmento da mineração.

O sujeito da pesquisa tem a limitação estabelecida pela área de RH em concordância com o pesquisado, tendo o limite de 3% do efetivo apresentado na folha de pagamento. Esse conjunto foi considerado para validar a pesquisa e a efetivação de um plano de ação para desdobrar para os demais líderes da unidade de análise.

A pesquisa foi focada em objetivos específicos que atendessem ao caráter proposto pelo Mestrado Profissional em Administração, que é a busca por soluções reais de questões expostas por uma organização, visto que a pesquisa irá gerar um plano de ação para o desenvolvimento dos líderes no contexto da Indústria 4.0. Isso não garante que a replicação desse teste atenderá a aplicação em qualquer outra organização, contudo, servirá como base para novas pesquisas e busca de soluções de problemas.

6.3 Sugestões para pesquisas futuras

O tema Indústria 4.0, apesar se ser propagado pelos meios comerciais como uma forma de vender o *status* de tecnologia, ainda carece de discussões e debates, bem como de pesquisas mais avançadas nas empresas brasileiras. Para isso, recomenda-se a expansão das investigações sobre o tema, principalmente com estudos de casos, nas organizações que possam replicar modelos para novas pesquisas.

Vale ressaltar que a Indústria 4.0 é aplicada a qualquer tipo de indústria de qualquer segmento, visto que as tecnologias habilitadoras são aplicáveis a qualquer tipo de negócio.

Trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorados e artigos científicos são muito bem-vindos para povoar o conhecimento do Brasil e colocar nosso país na vanguarda de um tema que está somente em seu início, visto que a Quarta Revolução Industrial está em seu início.

REFERÊNCIAS

Albornoz, S. (1992). *O que é trabalho* (5. ed). São Paulo: Brasiliense.

Allen, R. (2006). *The British Industrial Revolution in Global Perspective: How commerce created the industrial revolution and modern economic growth*. Retrieved from: https://www.nuffield.ox.ac.uk/media/2162/allen-industrev-global.pdf.

Appleton, R. W. (2014). *Additive manufacturing overview for the United States Marine Corps.* Retrieved from: http://rwappleton.com/3Dprinting.pdf.

Ashton, K. (2009). That “internet of things” thing in the real world, things matter more than ideas. *RFID Journal*. Retrieved from: http://www.rfidjournal. com/article/print/4986.

Barreto, M. L. (2001). *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT (215 p.).

Bengio, Y. (2007). Greedy layer-wise training of deep networks. *In*: P. B; Scholkopf, J. C. Platt, & T. Hoffman. (Ed.). *Advances in neural information processing systems*. *19*(S1), 153-160, MIT press.

Brauner, P., Holzinger, A., Schaar, A. K., Valdez, A. C., & Ziefle, M. (2015). Reducing complexity with simplicity: Usability methods for industry 4.0. *Proceedings do 19 Triennial Congresso f the IEA*. Melbourne, Austrália.

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change de manufacturing landscape: a Industry 4.0 perspective. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 8*(1).

Bryant, L. (1967). The beginnings of the internal combustion engine. *In:* M. Kranzberg, & C. W. Pursell Jr. (ed.). *Technology in western civilization*. (v. 1, p. 648-663). New York: Oxford University Press.

Burrows, W. R. (1998). *Cart-Neuro-Fuzzy Statistical Data Modeling. Part 1: Method; and Part 2: Results*. American Meteorological Society, 14. ed., Probability & Statistics.

Burrows, W. R. (1997). Cart regression models for predicting uv radiation at the ground in the presence of cloud and other environmental factors. American Meteorological Society.*Journal of Applied Meteorology,* Canadá, *36*.

Choo, C. W. (2003). *A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões*. São Paulo: SENAC (425 p.).

Christensen, C. M. (2002, Jun.). The rules of innovation. *Technology Review*. (p. 33).

CISCO IBGS (2011). *The Internet of Things how the next evolution of the Internet Is changing everything*. Singapore (11 p.).

CNI (2018, mar.). Confederação Nacional da Indústria. *A indústria em números*. Brasília. Recuperado de: https://static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/d9/9d/d99d102d-ba34-4ed1-a644-19a3cdfe3029/industria_numeros_marco_2018.pdf.

CNI (2016a, maio). Confederação Nacional da Indústria. *Sondagem especial Indústria 4.0*. Brasília, ano 17(66). .

CNI (2016b). Confederação Nacional da Indústria. *Desafios para a indústria 4.0 no Brasil*. Brasília (34 p.).

Coelho, P. M. N. (2017). *Rumo à Indústria 4.0.* 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10316/36992.

Cooper, K. G. (2001). *Rapid prototyping technology selection and application*. NY: CRC.

Crawford, R. (1994). *Na era do capital humano*. (cap. 1, pp. 19). São Paulo: Atlas.

Cukier, K., & Schonberger, V. M (2013). *Big Data: como extrair volume, variedade, velocidade e valor da avalanche de informação cotidiana*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

Cunico, M. M. W. M. (2011). Development of new rapid prototyping process. *Rapid Prototyping Journal, 17*(2), 6-6.

Cunningham, V., Young, J. T., & Schrader, C. A. (2015). *Navy additive manufacturing: adding parts, subtracting step*s. 2015. Tese (MBA professional rept. Naval) - Monterey, California: Naval Postgraduate School.

Davenport, T. H. (2014). *Big Data at Work: Dispelling the Myths, Uncovering the Opportunities*. Press Books.

Davenport, T. H. (1998). *Ecologia da informação: porque só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação*. Trad. de Bernadette Siqueira Abrão. São Paulo: Futura. (316 p.).

David, P. A. (1990, May). The dynamo and the computer: An historical perspective on the modern productivity paradox. *American Economic Review 80*: 355-61.

Davila, T., Epstein, M. J., & Shelton, R. (2007). *As regras da inovação: como gerenciar, como medir e como lucrar*. Porto Alegre: Bookman.

Dean, D., DiGrandi S, Field D, Ludmark A, O´Day J, Pineda J, & Zwillenberg P. (2013, Sep.). *The Internet economy in the G-20: BCG Perspectives.* Boston Consulting Group, Web. 3.

Deloitte (2014). *Industry 4.0: challenges and solutions for the digital transformation and use of exponencial technologies*. Audit. Tax. Consulting. Corporate Finance.

De Masi, D. (1999). *O futuro do trabalho: fadiga e ócio na sociedade pós-industrial* Trad. de Y. A. Figueiredo, Trad.). Rio de Janeiro: José Olympio.

Deustotech (2015). *Artificial intelligence technique at engineering*. Genetic Fuzzy Systems.

DNPM (2017). Departamento Nacional de Pesquisa Mineral. *Anuário Mineral 2017.* Série e Estatísticas. Recuperado de: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/ serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017.

Dorr II, J. V. N. (1959). *Esboço geológico do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Publicação Especial. DNPM, Rio de Janeiro (n. 1).

Dumbill, E. (2012). What is Big Data? *In*: O'Reilly Media Inc. *Big Data Now: current perspectives*. O'Reilly Media: California. Recuperado de: <http://www.oreilly.com/ data/free/files/big -data-now-2012.pdf>.

Elkady, A., & Sobh, T. (2012). *Robotics middleware: a comprehensive literature survey and attribute-based bibliography*. School of Engineering, University of Bridgeport, CT 06604, USA.

Erpen, L. R. N. (2004). *Reconhecimento de padrões em imagens por descritores de forma*. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. Recuperado de: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27662/000766057.pdf.

European Commission (2010). *The future of cloud computing: Opportunities for European Cloud Computing beyond 2010.* Public version 1.0. Information Society and media.

Evan, D. A. (2018). Internet das coisas: como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. *White paper.* Recuperado de: http://www.cisco.com/ c/dam/global/pt_br/assets/executives/pdf/internet_of_things_iot_ibsg_0411fi nal.pdf>.

Exame (2017). *As 19 empresas brasileiras entre as maiores do mundo em 2016. Revista Exame*. Recuperado de: https://exame.abril.com.br/negocios/as-19-empresas-brasileiras-entre-as-maiores-do-mundo-em-2016/.

Freitas Dias, R. R. (2016*) Internet das coisas sem mistérios: uma nova inteligência para os negócios.* São Paulo: Netpress Books.

Firjan (2016). Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. *Panoramas da inovação: Indústria 4.0*. Rio de Janeiro. (19 p.).

Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2004). Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science, 306*, 666-669.

Gerbert, P., Lorenz, M., Rüßmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing. Recuperado de: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/ engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_ manufacturing_industries.

Gibson, I. (2005). *Advanced manufacturing technology for medical applications: Reverse engineering, software conversion and rapid prototyping*. Chichester: Jonh Wiley & Sons (p. 257).

Gil, A. C. (2010). Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas.

Global Advisor (2016). *Automation is not the endo f world: Here´s why*. World Economic Forum.

GTAI (2016, May). Germay Trade & Invest. *Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the future*. Berlim (n. 20750).

Haber, L.F. (1958). *The chemical industry during the Nineteenth Century*. Oxford: At the Clarendon Press.

Hague, R., Mansour, S., & Saleh, N. (2003). Design opportunities with rapid manufacturing. *Assembly Automation*, [S.I.], *23*(4), 346- 356.

Hamel, G., & Skarzynsky, P. (2001). Innovation: The new route to wealth. *Journal of Accountancy* 192. *5*, 65. ABI/INFORM Global.

Hansen, M. T., & Birkinshaw, J. (2007, Jun.). The innovation value chain. *Harvard Business Review*, Boston, *85*(6), 121-130.

Harvey, D. (1996). *Condição pós-moderna* (6. ed.). Trad. A. U. Sobral & M. S. Gonçalves. São Paulo: Loyola.

Haykin, S. (1994). *Neural networks: a comprehensive foudation*. MacMillan Publishin Company. New York.

Hobsbawn, E. J. (1977). A Revolução Industrial. *In*: E. J. Hobsbawan. *A era das revoluções – 1789-1848* (33. ed., pp. 70-122, cap. 2). São Paulo: Paz e Terra.

Hone, J., Kysar, J. W., Lee, C., & Wei, X. D. (2008). Measurement of the elastic properties and intrinsic strenght of monolayer graphene. *Science, 321*, 385.

Huang, Y., Ma, K., & Tse, E. (2009). *Shan Zhai: A Chinese Phenomenom*. Booz&Co. Greater China.

Hughes, T. P. (1983). *Networks of power: Electrification in western society, 1880-1930*. Baltimore: Johns Hopkins Press.

IBRAM (2014). Instituto Brasileiro de Mineração. *Informações sobre a economia mineral do Estado de Minas Gerais*. IBRAM.

IBRAM (2017). Instituto Brasileiro de Mineração. Recuperado de: www.ibram.org.br/ sites/1300/1382/00004035.pdf.

ISO. International Organization for Standardization. (2011). *Robots and robotics devices: Safety requirements for industrial robots*. ISO.

Jara, A., Ladid, L., & Skarmeta, A. (2014). The Internet of things through IPv6: An analysis of challenges, solutions and opportunities. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*.

Jeffery, K., & Neidecker-Lutz, B. (2010). *The future of cloud computing: Opportunities for European Cloud Computing Beyond*. Expert Group Report, Information Society and Media. European Comission. Recuperado de: http://cordis.europa.eu/fp7/ ict/ssai/docs/cloud-report-final.pdf.

Jones, R., Haufe, P., Sells, E., Iravani, P., Olliver, V., Palmer, C., & Bowyer, A. (2011). RepRap–the replicating rapid prototyper. *Robotica, 29*(01), 177-191.

Jung, C. R., Osório, F. S., Kelber, C., & Heinen, F. (2005). Computação embarcada: projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes. *Anais do CSBC'05 XXIV Jornada de Atualização em Informática (JAI).* São Leopoldo, RS: SBC, *1*, 1358–1406. Recuperado de: http://osorio.wait4.org/palestras/jai2005.html.

Kaplinsky, R. (1984). *Automation: the technology and society*. Londres: Longman.

Khalid, A. (2010). Cloud computing: Applying issues in small business. *Annals International Conference of Signal Acquisition and Processing. Bangalore* (India): Institute of Electrical and Eletronics Engineers (IEEE) (p. 278-281).

Kranenburg, R. V. (2011). The internet of things. *Paper prepared for the 1st Berlin Symposium on Internet and Society*, October 25-27, 2011.

Kurose, J. F., & Ross K. W. (2012). *Computer networking: a top-down*. (6. ed.). Pearson. São Paulo

Lacerda, F., & Lima-Marques, M. (2015, abr-jun.). Da necessidade de princípios de arquitetura da Informação para a Internet das Coisas. *Perspectivas em Ciência da Informação, 20*(2), 158-171.

Lacombe, F (2009). *Teoria geral da administração*. São Paulo: Saraiva.

Machado, M. M. M. (2009). *Construindo a imagem geológica do quadrilátero ferrífero: conceitos e representações*. 2009. 256 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG.

Marconi, M. (2018). *Internet das coisas: história, conceitos, aplicações e desafios*. São Paulo: Saraiva.

Mcgee, J., & Prusak, L. (1994). *Gerenciamento estratégico da informação: aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica*. Trad. de Astrid Beatriz de Figueiredo. Rio de Janeiro: Campus.

McKinsey. (2016). *Industry 4.0 at McKinsey's model factories: Get ready for the disruptive wave*. McKinsey.

Menezes, F. M. (2015). *A linha do tempo na Engenharia de produção*. [Online]. Recuperado de: https://www.linkedin.com/pulse/linha-do-tempo-na-emgenharia-de-produção%C3%A7%C3%A3o. felipe-morais-menezes.

MERICS. (2016). *Mercator Institute for China Studies. Made in China 2025. The Making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries.* Merics.

Michel, O. (2004). Cyberbotics ltd. webots professional mobile robot simulation. *International Journal of Advanced Robotics Systems, 1*, 39–42.

Mokyr, J.. (1998a). *AScience, technology, and knowledge: What historians can learn from an evolutionary approach*.@ Max Planck Institute for Research into Economic Systems, Working Papers on Economics and Evolution, # 98-03.

Mokyr, J. (1998b, Sep.). *AKnowledge, technology, and economic growth during the Industrial Revolution*.@ Unpublished working paper presented to the Conference on Productivity and Standards of living, Groningen.

Morgan, J. A., & Prentiss, J. M. (2014). *An analysis of item identification for additive manufacturing (3D printing) within the naval supply chain*. Monterey: California: Naval Postgraduate School.

Morgan, L. H. (1877). *A sociedade antiga*. Recuperado de: https://revistasofosunirio.files.wordpress.com/2012/04/a-sociedade-antiga.pdf.

Morgan, J. A., & Prentiss, J. M. (2014). *An analysis of item identification for additive manufacturing (3D printing) within the naval supply chain*. MBA Professional Report – Monterey: California: Naval Postgraduate School.

Nakayama, R. S. (2017). *Oportunidades de atuação na cadeia de fornecimento de sistemas de automação para Indústria 4.0 no Brasil.* Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil). Recuperado de: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-24102017-145041/en.php

Naval Air (2016). Naval Air Systems Command (NAVAIR). *Public Affairs: NAVAIR marks first flight with* 3D printed, safety-critical parts. History Numbr. NNS160729-25. Recuperado de> http://www.navy.mil/submit/display.asp?story_id=95948. 03/03.2019.

Nilsson, N. J. (1993). *Principles of artificial intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers.

Noble, D. F. (2010). *Forces of production: A social history of Industrial Automation*. Porto Alegre: Bookman.

Oliveira, A. (2013). Data science and data analytics. 2013. *Palestra apresentada no 1 . EMC Summer School on Big Data*. EMC/NCE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2013.

Omachi, G. Y. (2015). *Estudos para o aumento da vida útil das minas de minério de ferro do quadrilátero ferrífero, MG*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Recuperado de: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6238/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_EstudosAumentoVida.pdf.

Overton, M. (2004). *Agricultural Revolution in England: the transformation of the agrarian economy 1500-1850*. Cambridge: Cambridge University Press.

Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016, May). Internet of things-IOT: Definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & Future Challenges*. International Journal of Engineering Science and Computing*.

PCAST (2011). President´s Council of Advisers on Science and Technology. *Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufaturing*. Washington, DC: PCAST.

Perez, C. (1985). Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries. World Development, Oxford: *Pergamon, 13*(3), 441-463.

Pinheiro, A. C. (1996). Impactos microeconômicos da privatização. Rio de Janeiro, *Pesquisa e Planejamento Econômico, 26*(3):357–98.

Postscapes (2017). *Internet of Things (IoT) History*. Retrieved from: http://www.postscapes.com/internet-of-things-history/

Raiwani, Y. P. (2013, Apr.). Internet of things: a new paradigma. *International Journal of Scientific and Research Publications, 3*(Issue 4).

Rivin, E. (1988) *Mechanical design of robots.* (1 ed.) McGraw-Hill Inc., New York.

RusseL, S. J., & Norvig , P. (1995). *Artificial Intelligence: a modern approach*. London, UK: Prentice Hal (1. ed.).

Saracevic, T. (1996, jan-jun.). Ciência da informação: origem, evolução e relações. *Perspectivas em Ciência da Informação*, Belo Horizonte, 1(1), 41-62.

Schiavicco, L., & Siciliano, B. (1995). *Robotica Industriale: Modellistica e Controllo di Manipolatori* (1. ed.). McGraw-Hill Inc., Milano.

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

Schurr, S. H., Netschert, B. C., Eliasberg, V., Lerner, J., & Landsberg, H. H. (1960). *Energy in the American economy, 1850-1975: An economic study of its history and prospects*. Baltimore: Johns Hopkins Press.

Sebrae. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2017). Recuperado de: http://datasebrae.com.br/pib/.

Smartfibres Ltd. (2000). *Structural health monitoring*. Retrieved from: https://www.smartfibres.com/case-studies/motorway-bridge-shm.

Snow, J. J. (2015) *Entering the matrix: the challenge of regulating radical leveling technologies*. Thesis - Radical Leveling Technologies, Monterey, California: Naval Postgraduate School.

Sowa, J.. F. (1984). *Conceptual structures: Information processing in M ind and machine*. New York, USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Stoner, L. A. F., & Freeman, R. E. (1992). *Administração*. 5. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil (533 p.).

Sutton, R. I. (2003, Jan-Feb.). Weird ideas that spark innovation. Sloan management. *Review. MIT, 43*(2), 86-92. HSM Management.

Tavares, E. (2014). Big data in Business. 12 de maio de 2014. *Palestra apresentada n.2, EMC Summer School on Big Data. EMC/NCE/UFRJ*. Rio de Janeiro.

Recuperado de: http://2014.emcbigdataschool.nce.ufrj.br/i mages/presentations/ Apresentacao_Elaine_ Tavares.pdf.

Tavares, M. C. (1992, ago.). Ajuste e reestruturação nos países centrais. *Economia e Sociedade*, Campinas, (1), 59-67.

Teodósio, A. S., Silva, E. E., & Rodrigues, F. R. G. (2009). *Discutindo o processo decisório: a contribuição dos principais modelos de análise*. Recuperado de http://www.mettodo.com.br/pdf/Discutindo%20o%20Processo%20Decisorio.pdf.

Terra, J. C. C. (2007). *Inovação: quebrando paradigmas para vencer*. São Paulo: Saraiva, 2007.

Tevah, R. T. (2006). *Implementação de um sistema de fala contínua com amplo vocabulário para o português brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Recuperado de: http://pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2006053001.pdf.

Tidd, J., Bessant, J., & Pavitt, K. (2015). *Gestão da inovação*. Porto Alegre: Bookman.

Troyk, P. R., Frankovic R., & Anderson J. E. (1991). Experimental techniques for electrical testing of microelectronic coatings. IEEE Trans Comp. *Hybrids, and Mauf Tech, 14*, 428-435.

Unicamp. Universidade de Campinas. (2012). *Robótica industrial: aplicação na indústria de manufatura e de processos*. McGralhill.

USGS (2018). United States Geological Survey. *Serviço Geológico dos Estados Unidos*. Recuperado de: http://www.usgs.gov/.

Usher, A. P. (1941). *História de la invenciones mecânicas*. Tradução espanhola por Teodoro Ortiz. Mexico, Fondo de Cultura Econômica.

Vale S/A. (2016). *Apresentação Institucional*. Recuperado de: www.vale.com.br.

Vale S/A. (2017a). *Sobre a Vale*. Recuperado de: http://www.vale.com/ brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/saiba-mais-atuacao-vale-minas-Gerais.aspx.

Vale S/A. (2017b). *Vale: A caminho da True Corporation*. Teleconferência com investidores. Recuperado de: http://www.vale.com/PT/investors/information-market/presentations-webcast/PresentationsWebCastDocs/170220%20 Apresentacao_Institucional_Vale_p.pdf.

Valley, K. (2019). *Training on artificial intelligence*. Neural networks na Fuzzy logic fundamental concepts and techniques in Matlab.

Van Rijnbach, C. (2007). Sete respostas que você precisa saber dar sobre inovação. *In*: J. C. C. *Terra. Inovação: quebrando paradigmas para vencer*. São Paulo: Saraiva (Cap. 5, p. 55-64).

Vaquero, L. M., Rodero-Merino, L., Caceres, J., & Lindner, M. (2009). A break in the clouds: Towards a cloud definition. *In*: SIGCOMM Computer Communication Review. New York, NY (US): *ACM, 39*(1), 50-55.

Vergara, S. C. (2003). Métodos de Pesquisa em Administração. São Paulo: Atlas, 2003.

Volpato, N. (2007). Os principais processos de prototipagem rápida. *In:* N. Volpato. *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*. (Cap. 3, p. 31-57). Paraná: Blucher.

Yorukoglu, M. (1996). The information technology productivity paradox. *Review of Economic Dynamics, 1*(2), 551–92.

Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the Analysis of complex Systems and Decision processes. IEEE Transactions on Systems. *Man and Cybernetics, SMC-3*(1), 28-44.

Apêndice A - Questionário Semiestruturado

Objetivo 1: Conceitos da Indústria 4.0/Quarta Revolução Industrial

1 – Para você, o que significa o termo Indústria 4.0?

2 - Quais são os países precursores da Indústria 4.0?

3 – Qual o principal impulsionador inovador da Quarta Revolução Industrial/Indústria 4.0?

4 – Quais tecnologias inovadoras você utiliza em sua área?

5 – Quais tecnologias disponíveis atualmente você associa à Indústria 4.0?

6 – Qual sua opinião sobre a aderência de sua área às tecnologias provenientes da Indústria 4.0?

7 – Qual sua propensão a adotar as tecnologias provenientes da Indústria 4.0 dentro dos dois próximos anos?

8 – Se a adoção das tecnologias provenientes da Indústria 4.0 gerasse um impacto em redução de 50% do seu quadro efetivo de empregados, qual seria sua propensão a implantar essas tecnologias?

9 – Se caracterizarmos as inovações em radical, semirradical e incremental, qual tipo de inovação ocorre com mais frequência em sua área?

10 – Em sua opinião, qual a importância de inovar no cenário da Quarta Revolução Industrial/Indústria 4.0?

Objetivo 2: Como os líderes decidem no cenário de mudança da Quarta Revolução Industrial?

11 – Chegado o momento da transição para a Indústria 4.0, como você se estrutura para tomar a decisão de investir em novas tecnologias?

12 – Você aguarda orientação de seu líder imediato ou sempre se antecede e propõe mudanças em sua área? Explique como funciona o processo de tomada de decisão sob sua gestão.

13 – Você considera que disputas internas podem influenciar a adoção das tecnologias provenientes da Indústria 4.0?

14 - Qual o nível de aderência dos líderes operacionais aos direcionamentos propostos pela Diretoria Executiva da empresa?

15 - Estando você diante de uma nova tecnologia que você não domina, mas está sendo orientado a implementar nos próximos seis meses com várias incertezas, qual seu nível de aderência?

Objetivo 3: Os atores e a estrutura administrativa para a inovação da empresa

16 – Como funciona a gestão da inovação em sua área?

17 – Quando uma ideia é gerada em sua área, qual o processo que ela percorre até ser implantada?

18 – Você considera sua empresa uma empresa inovadora? Por quê?

19 - Qual o nível de interação entre sua área e as áreas de suporte à inovação de sua empresa?

20 – Quais parceiros mais importantes você considera para a realização de inovações em sua área?