

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

Felipe Rodrigues Madeira

COMPETÊNCIAS PROFISSIONAIS NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:

DESAFIOS PARA A FORMAÇÃO EM ENGENHARIA EM MINAS GERAIS.

Belo Horizonte

2022

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

Felipe Rodrigues Madeira

COMPETÊNCIAS PROFISSIONAIS NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:

DESAFIOS PARA A FORMAÇÃO EM ENGENHARIA EM MINAS GERAIS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica (PPGET) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) em Belo Horizonte, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica.

Linha de Pesquisa: Processos Formativos na Educação Profissional e Tecnológica.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana M. Tonini

Belo Horizonte

2022

M181c Madeira, Felipe Rodrigues
Competências profissionais na quarta revolução industrial: desafios para a formação em engenharia em Minas Gerais / Felipe Rodrigues Madeira. – 2022. 151 f.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica.

Orientadora: Adriana M. Tonini.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

1. Engenharia – Estudo e ensino – Minas Gerais – Teses. 2. Trabalho qualificado – Teses. 3. Inovações tecnológicas – Teses. 4. Engenheiros – Formação – Teses. 5. Industrialização – Brasil – 2010- . – Teses. I. Tonini, Adriana Maria. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDD 378.0815

ATA DE DEFESA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - PPGET
Portaria MEC nº. 1.077, de 31/08/2012, republicada no DOU em 13/09/2012

Felipe Rodrigues Madeira

“COMPETÊNCIAS PROFISSIONAIS NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: DESAFIOS PARA A FORMAÇÃO EM ENGENHARIA EM MINAS GERAIS”

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, em 11 de agosto de 2022 como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica, aprovada pela Comissão Examinadora de Defesa de Dissertação constituída pelos professores:

Prof.ª Dr.ª Adriana Maria Tonini – Orientadora
Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Ivô de Jesus Ramos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Giancarlo Medeiros Pereira
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Dedico esta obra ao meu pai, José João Pires Madeira (in memoriam), a quem agradeço imensamente por todo o seu legado, que herdei honrosamente, principalmente a sua eterna paixão pela leitura, pela escrita e pelos livros.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a oportunidade e prerrogativa de participar do Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica (PPGET) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), em Belo Horizonte, instituição e cidade que acolheram a mim e a minha família de forma muito extremosa.

À professora orientadora Adriana Maria Tonini pela orientação, pelo aguilhoamento, pela confiança em mim depositada, pelos ensinamentos, paciência e atenção ao longo desta jornada.

Aos demais professores do PPGET, do CEFET-MG, pelos saberes agregados à minha formação.

Agradeço à minha família, em especial à minha esposa e filhas, que sempre estiveram ao meu lado durante essa jornada.

À minha mãe por manter sua força, perseverança e o amor por seus filhos.

Aos meus irmãos pela presença, pelo carinho e apoio irrestrito ao longo desse percurso.

A todos os meus amigos que de alguma forma me ajudaram para que eu conseguisse finalizar este trabalho.

Aos engenheiros egressos e alunos de Engenharia das escolas de Minas Gerais que aceitaram participar e contribuir para as entrevistas nesta pesquisa.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar em
ombros de gigantes.”*
Isaac Newton, 1675

RESUMO

São amplos os desafios para a educação, no ambiente da atual revolução industrial e especificamente na sua vertical da evolução tecnológica. Particularmente, os engenheiros da indústria brasileira sofrem com importantes limitadores para o seu desenvolvimento. Alguns não conseguem o devido sucesso, em um mercado que exige atualização de conhecimento constante, enquanto outros esbarram na copiosa oferta e disseminação da tecnologia, suscitando obsolescência dos profissionais. Apesar dos louváveis esforços na atualização da matriz curricular da formação em Engenharia, ainda existem escolas defasadas e sem direcionamento para o momento atual, permeado pelas atualizações e pela dimensão global da chamada Indústria 4.0. Este estudo procurou compreender as competências formadoras essenciais, técnicas e humanas, pensadas nos cursos de Engenharia, analisando o ensino profissional e tecnológico no Brasil e sua sintonia com as inovações, pilares da Quarta Revolução Industrial. Esse objetivo foi definido a partir da questão de pesquisa: Quais são as competências básicas para a atuação de engenheiros na indústria atual? Foram identificadas lacunas no ensino da engenharia disposto para a indústria do mundo presente, partindo-se do pressuposto de que a academia precisa fornecer um corpo técnico especializado, apresentando profissionais qualificados também no uso das artes empresariais como inovação, diagnóstico e proposição de ações. Os resultados indicaram que os profissionais e alunos procuraram formação complementar ao currículo de engenharia para poder desenvolver as competências requeridas pela sociedade atual. O método utilizado foi o estudo de caso, caracterizado por avaliação qualitativa, em organizações e escolas, por meio de uma entrevista semiestruturada e um questionário realizados com 15 estudantes e 15 engenheiros egressos das principais instituições de Minas Gerais. Verificamos como está o alinhamento entre a linguagem da empresa e aquela do mundo acadêmico. A sociedade empresarial demanda resultados práticos e rápidos, enquanto a academia deve ser competente e participar no desenvolvimento de instrumentos formativos amplos, eficazes e modernos. A partir deste estudo, dialogamos com as pesquisas anteriormente realizadas, sobre temas correlatos, e esperamos colaborar com as discussões acadêmicas e, conseqüentemente, cotizar-se para a construção do conhecimento sobre educação tecnológica, considerando suas possibilidades na formação técnica e, sobretudo, humana dos profissionais necessários para o sucesso do ecossistema: academia e indústria.

Palavras-chave: Engenharia. Competências. Formação Tecnológica. Quarta Revolução Industrial. Indústria 4.0.

ABSTRACT

The challenges for education are wide, in the current industrial revolution environment and specifically in its vertical of technological evolution. Particularly, engineers in Brazilian industry suffer important limitations for their development, some of them do not achieve the due success, in a market that demands constant knowledge updating. Others come up against the copious supply and dissemination of technology, causing professional obsolescence. Despite the commendable efforts to update the curriculum for training in Engineering, there are still schools that are outdated and without direction for the current moment, permeated by updates and the global dimension of the so-called Industry 4.0. This study aimed to understand the essential training skills, technical and human, thought in engineering courses, analyzing professional and technological education in Brazil and its harmony with innovations, pillars of the fourth industrial revolution. This objective was defined based on the research question: What are the basic skills for engineers to work in today's industry? We identified gaps in engineering education for the present world of industry, based on the assumption that the academy needs to provide a specialized technical body, presenting qualified professionals also in the use of business arts such as innovation, diagnosis, and proposition of actions. The results indicated that professionals and students sought complementary training to the engineering curriculum, in order to develop the skills required by today's society. The method used was the case study, characterized by qualitative evaluation, in organizations and schools through a semi-structured interview and a questionnaire carried out with 15 students and 15 engineers graduated from the main institutions of Minas Gerais. We check how the language of the company is aligned with that of the academic world. The business society demands practical and quick results, while the academy must be competent and participate in the development of broad, effective, and modern training instruments. From this study, we dialogue with the research previously carried out, on related topics, and we hope to collaborate with the academic discussions and, consequently, contribute to the construction of knowledge about technological education, considering its possibilities in the technical and, above all human, training of the professionals needed for ecosystem success: academia and industry.

Keywords: Engineering. Skills. Technological Education. Fourth Industrial Revolution. Industry 4.0.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3 D – Três Dimensões

AIDS – Acquired Immundeficiency Syndrome

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CAAE – Certificado de Apresentação de Apreciação Ética

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CNS – Conselho Nacional de Saúde

CONEP – Comissão Nacional de Ética em Pesquisa

DCNs – Diretrizes Curriculares Nacionais

EP – Educação Profissional

EPT – Educação Profissional e Tecnológica

EPTNM – Educação Profissional Técnica de Nível Médio

EUA – Estados Unidos da América

FACIT – Faculdade de Ciências e Tecnologia de Montes Claros

IA – Inteligência Artificial

INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

IoT – *Internet of Things*

LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

MDA – Mechanics, Dynamics and Aesthetics

MIT – Massachusetts Institute of Technology

MEC – Ministério da Educação

MG – Minas Gerais

OECD – Organization for Economic Co-Operation and Development

ONU – Organização das Nações Unidas

PBL – *Problem Based Learning*

PDI – Plano de Desenvolvimento Institucional

PPB – Processo Produtivo Básico

PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

RFEPCT – Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica

RFID – *Radio-Frequency Identification*

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TI – Tecnologia da Informação

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

WEF – *World Economic Forum*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O mundo 4.0 como união das três esferas.....	37
Figura 2 – Principais megatendências	38
Figura 3 – Modelos de aprendizado	63
Figura 4 – Arquitetura de cinco níveis proposta para implementação de um Sistema Ciberfísico	69
Figura 5 – Integração horizontal através da cadeia de valor	71
Figura 6 – Integração vertical da rede de sistemas da manufatura.....	72
Figura 7 – Integração engenharia ponta-a-ponta	73
Figura 8 – Modelo de Maturidade da Indústria 4.0	75
Figura 9 – Camadas de discussão da Educação 4.0.....	82
Figura 10 – Habilidades centrais para o trabalho	89
Figura 11 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fortes Alunos.....	109
Figura 12 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fracos Alunos	109
Figura 13 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fortes Egressos	110
Figura 14 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fracos Egressos	110

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Relação de entrevistados – Alunos.....	99
Gráfico 2 – Relação de entrevistados – Egressos	99
Gráfico 3 – Faixa etária dos Alunos engenheiros entrevistados.....	100
Gráfico 4 – Faixa etária dos Egressos engenheiros entrevistados	100
Gráfico 5 – Formação, por especialidade, dos Alunos engenheiros entrevistados.....	101
Gráfico 6 – Formação, por especialidade, dos Egressos engenheiros entrevistados.....	102
Gráfico 7 – Gênero dos Alunos engenheiros entrevistados.....	102
Gráfico 8 – Gênero dos Egressos engenheiros entrevistados	103
Gráfico 9 – Resposta dos Alunos para a Questão 6.....	106
Gráfico 10 – Resposta dos Egressos para a Questão 6.....	106

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1 – Probabilidade maior de extinção das profissões com o avanço da automação26
- Quadro 2 – Probabilidade menor de extinção das profissões com o avanço da automação.....27
- Quadro 3 – As principais tecnologias emergentes para o futuro e as dez mais relevantes44

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Motivação e Justificativa 17
1.2	Objetivos da pesquisa 18
1.2.1	Objetivo geral 18
1.2.2	Objetivos específicos 19
1.3	Organização da Dissertação..... 19
CAPÍTULO 2 – A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	21
2.1	Impulsionadores: as megatendências..... 22
2.2	Os motores da Quarta Revolução Industrial..... 37
2.3	As tecnologias e tendências digitais 43
2.3.1	Frente de Avanço Tecnológico – Digital..... 44
2.3.2	Frente de Avanço Tecnológico – Biotecnologia 50
2.3.3	Frente de Avanço Tecnológico – Energia e Meio Ambiente 52
2.3.4	Frente de Avanço Tecnológico – Materiais Avançados 54
2.3.5	A megatendência ubíqua 56
2.4	A velocidade do desenvolvimento tecnológico 57
CAPÍTULO 3 – COMPETÊNCIAS NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO NO CENÁRIO 4.0.....	61
3.1	Competências, Indústria 4.0 e a Quarta Revolução Industrial 66
3.1.1	Indústria 4.0 e os objetos e ambientes ciberfísicos..... 68
3.1.2	Eixos de integração da Indústria 4.0..... 70
3.1.3	Processo de transformação de uma Indústria Convencional em Indústria 4.0 73
3.1.4	Desafios para a adoção da Indústria 4.0 no Brasil..... 76
3.1.5	Contribuição dos estudos realizados no Fórum Econômico Mundial 77
3.1.6	Como o Brasil pode se preparar para a economia do futuro 79
3.1.7	A educação na quarta revolução industrial: considerações preliminares 80
3.1.8	Sociedade..... 82
3.1.9	Formação do conhecimento..... 83
3.1.10	Transmissão do conhecimento..... 85
3.1.11	Agente responsável pela transmissão do conhecimento..... 87
3.1.12	Indivíduo..... 88
3.1.13	E agora? 90
CAPÍTULO 4 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	93
4.1	Riscos 95
4.2	Benefícios 96

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	97
5.1 Categoriação dos resultados da pesquisa para atendimento ao primeiro objetivo específico.....	103
5.2 Categoriação dos resultados da pesquisa para atendimento ao segundo objetivo específico.....	111
5.3 Categoriação dos resultados da pesquisa para atendimento ao terceiro objetivo específico.....	115
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
REFERÊNCIAS	137
APÊNDICES	150

1 INTRODUÇÃO

O mundo está, mais uma vez, passando por grandes, abruptas e inéditas transformações. Estamos vivendo extraordinárias alterações nas relações sociais, na composição da cultura e na dinâmica da economia, as quais afetam o universo dos profissionais atuais e futuros: seus inter-relacionamentos, as formas de gerar renda, valor e fundamentalmente o seu legado.

No final de janeiro do ano de 2016, quando os participantes começavam a chegar a Davos, na Suíça, para a reunião anual do *World Economic Forum* (WEF), começou-se a questionar, para além do clima frio daquela cidade, se a organização não tinha errado ao escolher a Quarta Revolução Industrial como tema para o encontro. Considerando que o mundo estava diante de uma crise de refugiados, de um aumento do terrorismo e de uma desaceleração da economia da China, parecia haver outros temas mais relevantes do que a ainda afastada e incompreendida Quarta Revolução Industrial (QUARTA, 2016).

Segundo o professor Klaus Schwab (2016), essa nova revolução industrial que apenas começamos a conhecer está eliminando limites. Os limites que agora estão sendo suprimidos são entre os mundos físico, digital e biológico.

Diferentemente das revoluções industriais anteriores, esta quarta não é fruto do desenvolvimento de uma única tecnologia, mas de várias tecnologias, como a inteligência artificial, a internet das coisas, a biotecnologia e tantas outras que talvez nem surgiram ainda. Os impactos decorrentes do cancelamento desses limites requisitarão muitas reflexões por parte das instituições governamentais, empresas, academia e indivíduos. Descuidar desse debate pode significar viver permanentemente à margem deste novo mundo em construção. (SCHWAB, 2016).

A Quarta Revolução Industrial, que reúne a aplicação de soluções em inteligência artificial, robótica, manufatura aditiva, nanotecnologia, drones, internet das coisas, *blockchain*, gêmeos digitais, veículos autônomos, realidade aumentada e virtual, provocará uma mudança no paradigma de mercado. A indústria está em discussão sobre como enfrentar os novos tempos, mas o que está sendo pensado na academia?

Essa nova revolução, unindo mudanças socioeconômicas e demográficas, terá impacto nos modelos de negócios e no mercado de trabalho, afetando todos os setores e regiões geográficas (QUARTA, 2016).

O professor alemão Klaus Schwab, que é também o fundador do Fórum Econômico Mundial, alerta-nos, em *A Quarta Revolução Industrial* (2016), sobre a ideia de que já estamos

vivendo nessa nova era (SCHWAB, 2016). Um dos âmbitos mais afetados pelas novas configurações sociais será o do trabalho formal como o conhecemos hoje.

Caminhamos, desde o final do século XVIII, organizando a forma com que os homens participam da produção de bens e serviços para a economia e para a nossa vida. Ao longo do século XX, a atenção se voltou para as relações de trabalho e as formas que elas adquirem, para a proteção às condições de cada trabalhador, no ambiente em que ele passa boa parte de seu tempo útil, e para os processos que alavancam o desenvolvimento das competências que darão apoio à competitividade ou à sustentabilidade de qualquer organização. As economias mais impactadas serão as que usam mão de obra acessível como conveniência competitiva, como acontece em países como o Brasil (CUNHA, 2017).

Em artigo recém-publicado na revista *Com Censo*, Silva e Carvalho comentam:

O mundo, nos últimos anos, vivencia transformações profundas que emergem da Quarta Revolução Industrial. Iniciada no século XXI e baseada na revolução digital, a Revolução em questão é caracterizada pelo desenvolvimento de tecnologias digitais mais sofisticadas e integradas. As mudanças disruptivas, que tais tecnologias trazem para o mundo do trabalho, reconfiguram as ocupações e as competências dos indivíduos. Nesse contexto, é necessário que as pessoas estejam preparadas e tenham compatibilidade entre suas competências e as necessidades do novo paradigma, portanto, o propósito educacional emergente é preparar os indivíduos para o futuro incerto e que demanda flexibilidade. (SILVA; CARVALHO, 2019, p. 10)

Diante desse cenário, é de se prever que também a educação sofra transformações radicais, como mudanças no entendimento dos novos perfis de pessoas e de profissionais, dessa vez se exigindo alto nível de conectividade e com a realidade de uma crível migração entre profissões durante a sua trajetória.

Um dos equívocos que costumam permear certas discussões sobre tecnologia tem relação com as associações entre esse conceito e o conceito de técnica, que, não obstante o que possam ter em comum, constituem categorias analíticas distintas. O conceito de técnica, *techne*, que desde a Grécia Antiga estava presente nas discussões filosóficas de pensadores como Platão e Aristóteles, não pode ser reduzido a um simples processo, como um modo de fazer algo.

Na concepção de Pinto (2005), a técnica é inerente à espécie humana, a única entre todas as demais espécies vivas que tem por natureza própria a faculdade de produzir e inventar meios artificiais de resolver problemas. Por sua vez, a tecnologia é a ciência da técnica, que surge como exigência social em uma etapa posterior da história da humanidade. As novas tecnologias nascem, de um lado, devido à posse dos instrumentos lógicos e materiais indispensáveis para se chegar a uma nova realização, na base dos quais está o desenvolvimento científico, e de

outro, por uma incessante exigência social de superação de obstáculos e de busca por inovações, daí o porquê de nenhuma tecnologia se antecipar à sua época (PINTO, 2005).

Precisamos considerar o fato de que, mais do que apenas prover mudanças incrementais para a organização, a tecnologia é o principal fator responsável pelo desenvolvimento humano, conforme é apontado por Brynjolfsson e McAfee (2014). A tecnologia da máquina a vapor foi o fator responsável por eliminar o limite da energia animal, viabilizando a Primeira Revolução Industrial e acelerando a urbanização, com a migração em massa de pessoas do campo para as cidades. Depois, a eletrificação e a linha de montagem foram responsáveis por reduzir a limitação que o trabalho individual impunha à produtividade, dando origem à Segunda Revolução Industrial e ao surgimento da classe média. A digitalização, por sua vez, foi responsável por eliminar os limites de comunicação, permitindo a colaboração plena e tornando o mundo plano.

O foco da investigação de Schwab (2016) é o interesse pelo futuro e por tornar o mundo um lugar melhor. Sua obra é um alerta para a sociedade global: governos, empresas, centros de pesquisa, universidades e sociedade civil. Precisamos entender as tendências emergentes e coexistir com elas, já que a tecnologia não é uma força externa sobre a qual não temos nenhum controle. A mudança tecnológica é um convite para refletirmos sobre quem somos e como vemos o mundo. Devemos moldá-la para que ela seja centrada no ser humano ao invés de causar divisão e ser desumana.

Mas o que é essa revolução? O que ela gerará? Quais são suas forças na sociedade? Como aproveitá-la para o bem comum? A formação em engenharias será impactada?

As mudanças não trilharão um caminho tradicional linear. Elas trarão rupturas. O termo ruptura tem sido muito discutido em círculos de negócios e de estratégias de gestão mais recentemente (CHRISTENSEN; RAYNOR; MCDONALD, 2015), de modo que se reconhece que as empresas têm de pensar de forma estratégica sobre as forças de ruptura e inovação que moldam nosso futuro.

A história das mudanças científicas contempla novas teorias, modelos revisados, técnicas inovadoras, causando uma descontinuidade em relação à situação anterior. Apoiando-se na visão de Thomas Kuhn (2009), que percebe a evolução da história da ciência como um procedimento de descontinuidade, descrevemos a ruptura científica como um paradigma. A ciência, utilizando-se de paradigma, não gera crise; o cientista, quando avalia que o paradigma existente não satisfaz a explicação da observação, produz um novo paradigma. Nesse caso ocorre a substituição da teoria anterior pela novidade. Segundo Kuhn (2009), a ciência não

caminha linearmente, progredindo continuamente, mas avança por saltos ou revoluções. Estabelece-se então uma ilusão do progresso e de evolução, em que o passado é visto como inferior ao presente e como aquilo que precisa ser substituído.

Contudo, se as rupturas de paradigmas e as mudanças em geral ocorrem com bastante frequência e foram se acelerando desde o início do uso mais intenso da tecnologia, por que se pode concluir que esta é a Quarta Revolução Industrial? Segundo Schwab (2016), três são os fatores que nos levam a fazê-lo. O primeiro deles diz respeito à velocidade com que as mudanças se produzem. O ritmo dessa revolução é exponencial e não linear.

Como vivemos em um mundo extremamente interconectado, as novas tecnologias geram outras mais novas e cada vez mais qualificadas. O segundo fator engloba a amplitude e a profundidade das mudanças. A revolução digital é a sua base. Ao permitir a combinação de tecnologias, ela acarreta a quebra de diversos paradigmas na economia, nos negócios, na sociedade e no dia a dia das pessoas. Ainda, ela modifica o que fazemos, como fazemos e quem somos. Por fim, o terceiro fator mencionado nos faz ter uma visão holística dessa revolução. Trata-se do impacto sistêmico, percebido quando há a transformação de sistemas inteiros entre países e dentro deles, nas empresas, indústrias e na sociedade (SCHWAB, 2016).

1.1 Motivação e Justificativa

Este estudo pretende compreender as competências formadoras essenciais, técnicas e humanas para o exercício da profissão de engenheiro na indústria, analisando o ensino profissional e tecnológico no Brasil, bem como sua sintonia com as inovações que estão sempre à vista do desenvolvimento. Esse objetivo foi definido a partir da seguinte questão de pesquisa: quais são as competências básicas para a atuação de engenheiros na indústria atual?

A pesquisa apresentará uma análise qualitativa das práticas educativas em Ciência e Tecnologia, no contexto da Educação Tecnológica, para a formação de profissionais direcionados para a indústria. O ensino, os modelos acadêmicos e a atualidade das tecnologias digitais da informação e comunicação serão abordados neste estudo de caso. A pesquisa objetiva propor uma análise sobre a eficácia na formação em educação tecnológica.

O estudo considerará o potencial transformador entre academia e sociedade, focado em educação tecnológica. As necessidades e capacidade de colaboração entre escola e indústria serão avaliadas por meio de um novo olhar sobre a educação profissional.

Diante do exposto, apresenta-se a seguinte questão de pesquisa: quais são as competências básicas para a atuação de engenheiros na Indústria 4.0?

1.2 Objetivos da pesquisa

O estudo terá como foco o mercado brasileiro e permitirá a comparação com estudos realizados em outros países, de forma a estabelecer os principais desafios que o Brasil tem para se atualizar na formação profissional, sob as luzes da Quarta Revolução Industrial.

Impõe-se acompanhar a formação e a qualificação dos profissionais engenheiros nos cursos de Engenharia e no mercado de trabalho. Estudaremos os currículos e projetos político-pedagógicos dos cursos de Engenharia, primariamente no estado de Minas Gerais, podendo-se associar outras Instituições de Ensino Superior conforme o progresso e as observações resultantes, bem como sua forma de implementação em sala de aula.

Analisaremos as competências e habilidades demandadas no mundo do trabalho e na área acadêmica. A pesquisa será também realizada nas empresas industriais, de modo a traçar um diagnóstico de formação exigida e contemplada por esses engenheiros no ambiente educacional brasileiro.

A avaliação buscará, no conjunto de opções em melhores práticas educacionais, identificar os caminhos para a educação tecnológica, especificamente na graduação em Engenharia. O estudo de caso, por sua vez, resultará na proposição de um modelo de avaliação da eficácia na formação dos profissionais dispostos para a indústria.

Para responder à questão principal de pesquisa (quais são as competências básicas para a atuação de engenheiros na Indústria 4.0?), necessitamos delinear adequadamente os objetivos e classificá-los, conforme indicamos a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

Compreender as competências na formação tecnológica dos profissionais, alinhadas com a necessidade do mercado, que assegurem a diminuição de dissonância entre a academia e as demandas atuais da indústria.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar boas práticas na educação tecnológica e de extensão universitária, contribuindo para a valorização da cultura acadêmica desta área de estudos;
- b) identificar as competências necessárias para o ambiente da Indústria 4.0;
- c) definir as competências que o engenheiro, profissional em tecnologia, necessita adquirir para desenvolver os conceitos da Indústria 4.0.

Desse modo, essa pesquisa contribuirá para a identificação das competências e habilidades requeridas pela evolução industrial, tecnológica e pelo crescimento das demandas em manufatura avançada nas empresas de setores como metalmecânico, de informática, eletromecânico, de telecomunicações e da construção civil, notadamente após o surgimento do conceito de Quarta Revolução Industrial, com repercussão, a nível nacional e internacional, pela globalização da economia brasileira. Essas empresas demandam do quadro de profissionais engenheiros uma formação, qualificação e atuação profissional que atenda às novas exigências do mundo do trabalho contemporâneo, tanto do ponto de vista técnico quanto do da gestão. Espera-se com esta pesquisa contribuir também para a melhor e mais adequada formação desses profissionais pelas escolas técnicas e de engenharia nacionais.

1.3 Organização da Dissertação

Este trabalho está organizado em seis capítulos. No primeiro capítulo é realizada a apresentação do problema pesquisado, das justificativas para a realização da pesquisa, sua relevância e motivação, além do seu objetivo geral e objetivos específicos.

O segundo capítulo aborda a Quarta Revolução Industrial a partir de um breve histórico e contextualização das tecnologias e sua influência na sociedade em que vivemos. São apresentadas diversas reflexões e concepções sobre a Indústria 4.0, pautadas principalmente nos trabalhos do professor Klaus Schwab.

Por sua vez, no terceiro capítulo é realizada uma análise das competências do engenheiro e sua importância na construção basilar da indústria ambientada na tecnologia e na Quarta Revolução Industrial, baseada na escola francesa. O autor principal, Philip Zarifian, relaciona principalmente a educação acadêmica aos processos de aprendizagem prática. Além disso, é trazida a contribuição de outros autores sobre a temática da competência.

O quarto capítulo apresenta os aspectos metodológicos da pesquisa, como a abordagem metodológica utilizada, o instrumento de coleta de dados, a forma como se realizou a coleta, a análise e interpretação dos dados, o *locus* e os sujeitos participantes, assim como os aspectos éticos envolvidos na pesquisa.

No quinto capítulo são apresentados os resultados da pesquisa de campo e as discussões em torno desses resultados, à luz do referencial teórico que sustenta esta pesquisa. As considerações finais são apresentadas no sexto capítulo e, logo após, tem-se as referências, apêndices e anexos da pesquisa.

2 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Recapitulando as revoluções industriais anteriores, Schwab as divide e as separa de acordo com sua duração e características tecnológicas. A Primeira Revolução Industrial compreende os anos de 1760 a 1840 e tem como fatores determinantes a construção das ferrovias bem como a invenção da máquina a vapor. A Segunda Revolução Industrial ocorre ao longo do século XIX, impulsionada pela utilização da eletricidade e pelo desenvolvimento da linha de montagem, levando à produção em massa. A Terceira Revolução Industrial, por sua vez, só terá início em 1960, com a digitalização, ou seja, com a chegada do computador, dos semicondutores, dos *mainframes*, da computação pessoal e da internet (SCHWAB, 2016).

Esta revolução a qual vivemos agora, a Quarta Revolução Industrial, é a revolução digital. Os avanços tecnológicos que a desencadearam são a internet mais ubíqua (onipresente) e móvel, sensores menores e poderosos, inteligência artificial (IA) e *machine learning*. Toda essa tecnologia promove a interação entre os domínios físico, digital e biológico (BRITO et al, 2018).

Há, contudo, fatores limitantes. Entre eles estão o baixo nível de liderança e a compreensão sobre as mudanças em curso, bem como a falta de uma perspectiva coerente sobre oportunidades e desafios. A academia e a sua capacidade de prover as competências necessárias para a formação dos indivíduos, em especial na engenharia, objeto deste estudo, precisa entender o seu papel. Segundo Zarifian (2011), a competência é relacionada à iniciativa, à assunção de responsabilidade pelo profissional em face à situação do momento; enfatiza-se, na apropriação de uma competência, a autonomia e a automobilização do indivíduo em relação ao fim do desenho prescrito, apoiado em velhos paradigmas. Esse último fator se mostra fundamental para se evitar uma resistência contra as mudanças correntes, uma vez que o impacto no mundo do trabalho e do emprego poderá gerar turbulências sociais consideráveis.

As mudanças proporcionadas por essa revolução causam rupturas. Airbnb, Uber, Alibaba, Whatsapp e outros serviços bem como empresas não eram conhecidos há poucos anos. O iPhone foi lançado em 2007 e em 2015 já existiam cerca de 2 bilhões de *smartphones*. Em 1985, o supercomputador Cray-2 era a máquina mais rápida do mundo. A capacidade do iPhone 4, lançado em junho de 2010, era equivalente à capacidade do Cray-2; apenas cinco anos mais tarde, o Apple Watch possuía velocidade equivalente à de dois iPhones 4 (EXPERTS EXCHANGE, 2017).

Em 1990, as três maiores empresas de Detroit capitalizavam 36 bilhões de dólares e faturavam 250 bilhões com 1,2 milhão de empregados. Em 2014, as três maiores do Vale do Silício capitalizavam 1,09 trilhão de dólares, com receitas de 247 bilhões e 137 mil empregados (MANYIKA; CHUI, 2014).

A internet, o *smartphone* e os aplicativos deixam nossas vidas mais fáceis e mais produtivas. Um *tablet* de hoje tem a capacidade de 5 mil computadores de 30 anos atrás. O custo médio de armazenamento de 1GB é de 3 centavos de dólar, enquanto, há 20 anos, era de 10 mil dólares. Falar com computadores vai se tornar normal, será a computação ambiental.

Todavia, a inovação, à medida que cria produtos, processos, modelos e negócio e, até mesmo, novos setores produtivos, torna o que até então era convencional crescentemente ineficiente e obsoleto, provocando o esvaziamento e o desemprego nessas atividades tradicionais. Muitos serviços são substituídos pela tecnologia. Em geral, aplicativos substituem pessoas. Invariavelmente os grandes beneficiários são os provedores de capital intelectual. O efeito plataforma agrava isso. As organizações digitais criam redes que emparelham vendedores e compradores de grande variedade de produtos e serviços, desfrutando rendimentos crescentes de escala. Poucas plataformas poderosas dominam o mercado. O consumidor se beneficia e o investidor da plataforma também. É nossa missão fazer com que a quarta revolução seja uma oportunidade e não um fosso (BRITO et al, 2018).

2.1 Impulsionadores: as megatendências

Veículos autônomos: carros sem motoristas, drones, caminhões, aviões e barcos. Os sensores e a Inteligência Artificial (IA) tornam possível essa inovação. Os carros autônomos alterarão o modelo de comercialização dos veículos. A aquisição será substituída pela utilização colaborativa.

Impressão 3D: os produtos impressos em 3D poderão ser facilmente personalizados. A fabricação aditiva cria produtos, camada por camada, por meio de um desenho digital 3D. Já hoje, turbinas eólicas e implantes ósseos são fabricados com tal tecnologia. A impressão 3D vai evitar gastos com logística, porque a indústria tenderá a ser local.

Robótica avançada: em um futuro muito próximo, robôs colaborativos estarão em todo lugar fazendo tarefas cotidianas. Eles já existem e dependem de regulamentação. O desenvolvimento dos sensores fará com que os robôs respondam e compreendam melhor o seu ambiente e possam se empenhar em tarefas variadas, como as domésticas (BRITO et al, 2018).

Novos materiais: materiais mais leves, mais fortes, recicláveis e adaptáveis têm surgido no mercado. Exemplo interessante é o grafeno, 200 vezes mais forte que o aço e milhões de vezes mais fino que o cabelo humano, um eficiente condutor de eletricidade e calor (ISAIAH, 2015). Isso causará uma ruptura na indústria de fabricação e de infraestrutura (LASKOW, 2014). Plásticos termofixos poderão ser reutilizáveis e empregados em tudo, desde celulares até peças para a indústria aeroespacial. A descrição detalhada de outras tecnologias emergentes pode ser encontrada em Meyerson (2015).

As coisas entram no mundo digital pela tecnologia IoT (sigla em inglês para *Internet of Things*, a Internet das Coisas). Os sensores são cada vez menores e mais baratos. Há hoje bilhões de dispositivos conectados à internet, incluindo computadores, *smartphones* e *tablets*. A rastreabilidade dos produtos por meio de sensores RFID fará com que qualquer pacote seja localizado em toda a cadeia de fornecimento. Em breve, isso poderá se dar para o rastreamento das pessoas (BRITO et al, 2018).

Com o *blockchain*, um livro contábil compartilhado e programado, transações financeiras são realizadas sem um intermediário (instituições financeiras) entre os interessados. A moeda é puramente digital. A *bitcoin* é uma espécie de *blockchain* e outros surgirão. Instituições financeiras e bancos centrais não têm controle sobre essas transações (BRITO et al, 2018).

As plataformas digitais tornam possível a economia sob demanda. Os *smartphones* nessas plataformas reúnem pessoas, ativos e dados que facilitam o consumo de bens e serviços. A Uber simboliza bem o poder de ruptura dessas plataformas. Elas se multiplicam rapidamente: semeiam confiança já que emparelham oferta e demanda com baixo custo e interação. Há *feedback* onde antes não existia. Para quem você reclamava do taxista? Indo além, a economia sob demanda gera uma questão: o que vale a pena possuir, a plataforma ou o ativo? A Uber não tem carros, o Facebook não cria conteúdos, o Alibaba não possui estoques, o Airbnb não tem imóveis (GOODWIN, 2015). As plataformas reduzem drasticamente o custo de transação e fricção quando se compartilha um ativo ou se oferece um serviço.

Os custos do sequenciamento genético saíram de 2,7 bilhões de dólares, em mais de dez anos de projeto, para um custo atual de menos de mil dólares; ademais, houve uma redução no processo para umas poucas horas (WETTERSTRAND, 2016). Cientistas podem testar como variações genéticas específicas geram doenças e características particulares. O ambiente de Inteligência Artificial da IBM, o Watson, pode recomendar em minutos tratamentos para o câncer por meio da base de conhecimento (CHA, 2015). A ciência genética avança muito rápido

e as limitações são mais jurídicas e éticas do que técnicas. A pergunta desafiadora que fica é: como a edição genética revolucionará a pesquisa e o tratamento médico?

A impressão 3D já foi usada para imprimir pele, osso, coração e tecido vascular: trata-se da bioimpressão tridimensional. Dispositivos que monitoram nossos níveis de atividade e composição sanguínea estão sendo desenvolvidos para que seja possível relacionar esses dados ao nosso nível de produtividade e à nossa saúde mental e bem-estar. Como exemplo disso, já se pode citar também o Apple Watch (BRITO et al, 2018).

Embora universidades tenham sido o berço do pioneirismo, acredita-se que hoje elas contribuem apenas incrementalmente para a inovação (FOSTER; RZHETSKY; EVANS, 2015). O conservadorismo das pesquisas acadêmicas precisa ser contrabalanceado por formas mais comerciais de investigação, não deixando de atender aos governos que requerem pesquisas nas áreas de saúde e defesa (RAMSAY; CACMILLAN, 2015). As pesquisas devem estar voltadas à construção do conhecimento e do capital humano para o benefício de todos, e os governos devem promover financiamentos mais agressivos para esse fim.

Para os pessimistas as contribuições da revolução digital para a produtividade já estão acabando. Por outro lado, otimistas afirmam que a tecnologia e a inovação estão em um ponto de inflexão e em breve irão desencadear um aumento na produtividade e um maior crescimento econômico. Há explicações variadas para o lento crescimento mundial atualmente: má alocação do capital, endividamento, alterações demográficas, envelhecimento da população, produtividade etc.

O envelhecimento constitui um desafio econômico. O homem precisa trabalhar e contribuir mais tempo. Poucas pessoas estão propensas a correr riscos empresariais. Em geral, os mais velhos não se adaptam bem às mudanças, tendem a preservar os ativos necessários para uma aposentadoria confortável. Um mundo em envelhecimento está destinado a crescer mais lentamente, a menos que a revolução da tecnologia acione um grande crescimento de produtividade, de modo que se possa trabalhar de forma mais inteligente e não mais intensamente. A dificuldade que muitos países enfrentam para discutir essas questões é apenas um novo sinal de que não estamos proativamente preparados para reconhecer as forças das mudanças (BRITO et al, 2018).

Muitos novos produtos e serviços possuem custos marginais zero ou canalizam mercados altamente competitivos por meio de plataformas digitais. Isso resulta em preços mais baixos. As estatísticas atuais talvez não capturem os aumentos reais em termos de valores pois o excedente do consumidor não foi traduzido em vendas realizadas ou melhores lucros (ARK;

ERUMBAN, 2015). Muitos serviços da economia sob demanda atestam o aumento da produtividade e da eficiência. Por serem essencialmente gratuitos, esses serviços oferecem valores não contabilizados. Isso gera discrepância entre o valor entregue por um serviço e o crescimento medido pelas estatísticas nacionais. Na verdade, estamos produzindo e consumindo de forma mais eficiente do que nos informam os indicadores econômicos (DELONG, 2015). A Quarta Revolução Industrial permite integrar à economia global pessoas que antes estavam desconectadas. Demandas adicionais são criadas para serviços e produtos existentes ao se capacitar e conectar 2 bilhões de pessoas com comunidades de todo o mundo.

A competitividade exige que as empresas e a academia inovem. Podemos aumentar o crescimento econômico, mas é preciso gerenciar impactos negativos em relação à desigualdade, ao emprego e ao mercado de trabalho. Em 1931, John Maynard Keynes, falando sobre a difusão do desemprego, afirmava: “[...] nossa descoberta dos meios de economizar o uso do trabalho ultrapassa o ritmo no qual podemos encontrar novos usos para o trabalho.” (KEYNES apud SCHWAB, 2016, p. 41). Naquela época isso se mostrou errado, e hoje? O computador e os aplicativos já substituíram vários postos de trabalho. Quantos postos serão substituídos pela automação? Existem dois efeitos concorrentes: as rupturas de tecnologia e automação substituem trabalho por capital e geram desemprego; por outro lado, há uma nova demanda por bens e serviços que criam profissões novas e desafiam a matriz curricular das que sobreviverão.

Existem duas hipóteses: uma, com final feliz, na qual o deslocamento dos trabalhadores é plenamente satisfeito; e outra que culmina com um Armagedom social, devido à perda maciça de empregos. Muitos trabalhos poderão ser automatizados, e isso inclui funções que outrora não se imaginava que estariam em risco, como a de advogados, analistas financeiros, médicos, jornalistas, contadores, corretores de seguros e bibliotecários.

É notável, de acordo com os dados apresentados por Schwab (2016) que a Quarta Revolução Industrial tem gerado menos postos de trabalho nas novas indústrias do que geraram as outras revoluções:

- a) 0,5% da força de trabalho americana está empregada em indústrias que não existiam na virada do século;
- b) as inovações em tecnologias da informação elevam a produtividade, substituindo trabalhadores e não criando produtos que alavancam mais trabalho para produzi-los;
- c) 47% do emprego total nos EUA está em risco;

- d) o emprego crescerá em ocupações e cargos criativos e cognitivos de altos salários em detrimento das ocupações manuais de baixos salários, mas, no geral, o número de postos de trabalho vai diminuir (SCHWAB, 2016).

O Quadro 1 apresenta profissões com alta probabilidade de sumirem devido à automação e o Quadro 2 outras profissões menos propensas a se extinguirem. A demanda recairá muito mais sobre habilidades de resolução de problemas complexos, competências sociais e de sistemas e menos sobre habilidades físicas ou competências técnicas específicas.

Quadro 1 – Maior probabilidade de extinção das profissões com o avanço da automação

Probabilidade	Profissão
99%	Operadores de <i>telemarketing</i>
99%	Responsável por cálculos fiscais
98%	Avaliadores de seguros, danos automobilísticos
98%	Árbitros, juízes e outros profissionais desportivos
98%	Secretários jurídicos
97%	<i>Hosts e hostesses</i> de restaurantes, <i>lounges</i> e cafés
97%	Corretores de imóveis
97%	Mão de obra agrícola
96%	Secretários e assistentes administrativos, exceto os jurídicos, médicos e executivos
94%	Entregadores e mensageiros

Fonte: BENEDIKT; OSBORNE, 2013 apud SCHWAB (2016, p. 45).

Quadro 2 – Menor probabilidade de extinção das profissões com o avanço da automação

Probabilidade	Profissão
0,31%	Assistentes sociais de abuso de substâncias e saúde mental
0,4%	Coreógrafos
0,42%	Médicos e cirurgiões
0,43	Psicólogos
0,55%	Gerentes de recursos humanos
0,65%	Analistas de sistemas de computador
0,77%	Antropólogos e arqueólogos
1%	Engenheiros
1,3%	Gerentes de vendas
1,5%	Diretores

Fonte: BENEDIKT; OSBORNE, 2013 apud SCHWAB (2016, p. 45).

Empregos de baixo risco de extinção são aqueles ligados a tomadas de decisão, especialmente em situações de incerteza e de desenvolvimento de novas ideias. Podolny (2015) previa que, já em 2020, 90% das notícias poderiam ser geradas por um algoritmo, sem intervenção humana (PODOLNY, 2015).

A menos que a sociedade se prepare, haverá um esvaziamento da base da pirâmide de habilidades profissionais, e isso levará a desigualdade e tensões sociais. Os trabalhadores terão de se adaptar continuamente e aprender habilidades novas dentro de uma variedade de contextos. Gerentes de RH percebem hoje que existem obstáculos nesse sentido por falta de compreensão por parte das empresas sobre a natureza das mudanças que causam ruptura e falta de alinhamento de estratégias de inovação com a força de trabalho. As empresas precisam de uma nova mentalidade para satisfazer suas próprias necessidades de talento e atenuar resultados indesejados para a sociedade.

Garantir que nenhuma faixa do globo seja abandonada é um objetivo crucial para mitigar a chance de instabilidade mundial, em razão de riscos causados pelos fluxos migratórios. Um grande desafio se apresenta ao considerarmos o seguinte cenário: se e a possibilidade de pagar baixos salários deixar de ser um fator de competitividade das empresas, os fabricantes poderão migrar de volta para as economias avançadas. Nesse caso, muitos países deverão repensar seus modelos de industrialização. É imprescindível que os líderes pensem sobre esses impactos. Mas

o que acontecerá se houver demanda insuficiente para o trabalho ou se as competências disponíveis deixarem de coincidir com as reais demandas?

Fala-se agora em uma “nuvem humana”, que se constituiria a partir da seguinte conjunção de fatores: as atividades estão separadas em atribuições e projetos; os trabalhadores, então, são localizados em qualquer lugar do mundo. Na economia sob demanda, os prestadores de serviço não são empregados no sentido tradicional, mas como trabalhadores independentes (PINK, 2001 apud SCHWAB, 2016, p. 53). Provavelmente, no futuro, a renda será dividida: motorista de Uber, comprador da Instacart, locador da Airbnb e trabalhador na TaskRabbit (MANJOO, 2015). Isso pode dar mais poder aos indivíduos conectados que possuam as competências desejadas (O’CONNOR, 2015 apud SCHWAB, 2016, p. 55).

Buckminster Fuller disse que a superespecialização tende a silenciar as pesquisas mais amplas. Os jovens tendem a não ser um participante com propósito e a ver os empregos corporativos como algo que restringe sua capacidade de encontrar significado e propósito na vida (FULLER, 1975 apud SCHWAB, 2016, p. 30). Com isso, surge a preocupação de que apenas uma minoria encontre satisfação profissional.

As tecnologias emergentes, alimentadas por recursos digitais, estão aumentando a escala de mudança das empresas. O Google levou cinco anos para alcançar a receita de 1 bilhão de dólares e o Facebook seis anos. O que se vê indica que a caminhada se tornará cada vez mais veloz.

Muitas fontes de ruptura causam diferentes formas de impactos nos negócios. A tecnologia de impressão 3D tornará a fabricação distribuída e a manutenção de peças sobressalentes mais fáceis e baratas.

Líderes comerciais consideram que sua maior ameaça são os concorrentes ainda não identificados. São quatro os grandes impactos no mundo dos negócios: expectativas dos clientes mudando; produtos sendo melhorados por meio da análise de dados; criação de novas parcerias por meio de novas formas de colaboração; e, finalmente, modelos operacionais sendo transformados em modelos digitais.

Clientes B2C (sigla em inglês para *business to consumer*) ou B2B (sigla em inglês para *business to business*) esperam mais. A Apple redefine as expectativas do cliente para incluir a experiência do produto. O patrimônio da marca é um prêmio difícil de se ganhar e fácil de se perder. Isso será amplificado em um mundo mais transparente. Vivemos no mundo do agora, onde 30 bilhões de mensagens de WhatsApp são enviadas todos os dias (KOKALITCHEVA, 2015). Uma análise estimativa apurou que 87% dos jovens dos EUA disseram que nunca

deixam de lado seus *smartphones* (ZOGBY ANALYTICS, 2014). Em 11 de novembro de 2015, o Alibaba lidou com mais de 14 bilhões de dólares em transações (WONG, 2015 apud SCHWAB, 2016, p. 60). O WeChat, na China, ganhou cerca de 150 milhões de usuários em 12 meses (TENCENT, 2015).

A Tesla introduziu o conceito de conectividade *over-the-air*, no qual o *software* do veículo é atualizado depois da compra para melhorar o produto. Sensores colocados nos bens podem monitorar seu funcionamento para que se faça a manutenção proativa, maximizando seu uso. Os transportadores de longa distância estão interessados em não pagar pelo pneu, mas pelo uso dele. Sensores e análises podem ajudar na monitoração do motorista, consumo de combustível e desgaste dos pneus para poder oferecer um serviço ponta-a-ponta (*end-to-end*).

Empresas grandes podem buscar no modelo de colaboração parceria com empresas de tecnologia menores, que as possam suprir de velocidade em inovações e rupturas. A Siemens firmou esse tipo de parceria em 2008 com a Ayasdi (AI+Big Data) e pôde extrair ideias de uma vasta quantidade de dados a partir dessa colaboração.

Nesta quarta revolução, as plataformas globais alteram o foco de muitas indústrias da venda de produtos para o fornecimento de serviços. Bons exemplos são o Kindle da Amazon, as músicas pelo Spotify e o compartilhamento de carros pelos serviços de mobilidade, sem que as próprias plataformas possuam o veículo. Tudo isso gera uma necessidade intensa de investimento em novas tecnologias de segurança cibernética (TURNER, 2015).

As empresas precisarão se adaptar ao conceito de talentismo. A natureza da estrutura organizacional precisa ser repensada: hierarquias flexíveis, novas formas de medir e recompensar desempenho, novas formas de atrair e reter talentos competentes, estes serão os fatores do sucesso organizacional. Empresas passarão de estruturas hierárquicas para modelos colaborativos e em rede, com a gestão guiada pela maestria, independência e significado. As empresas poderão ter equipes distribuídas, trabalhadores remotos com troca contínua de dados, conhecimentos, coisas e tarefas em andamento.

Em muitas cidades, a popularidade da Uber começou com uma melhor experiência do cliente. Ele acompanha a posição do carro, uma descrição do carro e pode efetuar um pagamento mais dinâmico que inclusive evita atrasos. É uma mudança de negócio. Isso abre um leque para se pensar em serviços de colaboração com combinações interessantes entre plataformas. Trata-se de verdadeira ruptura (IBM, 2015). Um motorista é dono de um carro e o disponibiliza; um proprietário de imóvel disponibiliza um quarto de sua casa; o sucesso terá a ver com a experiência e o custo. Tal combinação desmantela os limites existentes entre as indústrias.

Na área financeira, os robôs consultores (*robo-advisors*), com seus novos algoritmos de consultoria, fornecem serviços por uma fração do antigo custo de transação: 0,5% ao invés de 2%. É uma ameaça para a indústria financeira. Essa indústria está também atenta ao que o *blockchain* poderá fazer neste mercado. Vinte bilhões de dólares poderão ser economizados em transações (GESI, 2012).

Empresas que sobreviverem deverão manter continuamente sua vantagem inovadora, uma espécie de filosofia “para sempre em beta”. Se por um lado essas novas tecnologias oferecem novos produtos e serviços que beneficiam muitos, por outro podem criar impactos indesejáveis como desemprego generalizado e ampliação da desigualdade social.

Os governos estão entre os mais impactados por essa natureza cada vez mais transitória e evanescente do poder. Moisés Naím afirma que, “no século XXI, será mais fácil chegar ao poder, mais difícil usá-lo e mais fácil perdê-lo” (NAÍM, 2013 apud SCHWAB, 2016, p. 72). Os políticos têm encontrado mais dificuldades para realizar mudanças. Seu poder sofre limitações dos centros de poder rival, como corporações e empresas, cuja origem pode chegar até a indivíduos isolados. A era digital prejudicou muitas das barreiras que eram usadas para proteger a autoridade pública.

A tecnologia seguirá tornando os cidadãos mais aptos, ao oferecer novas formas de expressar opinião, coordenar esforços e, possivelmente, contornar a supervisão estatal. Governos serão forçados a mudar à medida que seu papel central de conduzir a política diminui, devido aos crescentes níveis de concorrência e à redistribuição e descentralização do poder que as novas tecnologias tornam possíveis. A capacidade de adaptação dos governos irá determinar sua sobrevivência. Antes os líderes tinham tempo suficiente para estudar uma questão específica e, em seguida, criar a resposta necessária. Hoje o ciclo de notícias de 24 horas pressiona os líderes a comentar os eventos ou agir imediatamente, reduzindo o tempo disponível para encontrar respostas calculadas. Há, portanto, o perigo de perda de controle de temas importantes (BRITO et al, 2018).

As tecnologias digitais possibilitam o surgimento de novos tipos de emprego flexíveis e transitórios. Há preocupações relevantes sobre a proteção do profissional, já que a economia é sob demanda e que cada trabalhador é um contratado temporário sem previdência e longevidade empregatícia. Adicionalmente, transações digitais descentralizadas usadas para efetuar pagamentos podem criar obstáculos para que o poder público consiga rastrear a origem e o destino dessas transações (SCHWAB, 2016).

A tecnologia não conhece fronteiras. Em um mundo em que bens e serviços podem ser produzidos em quase qualquer lugar e em que trabalhos menos qualificados serão automatizados, onde as pessoas que podem pagar se reunirão? Em países com instituições fortes e de comprovada qualidade de vida? O que vai acontecer com os outros? Países que conseguirem estabelecer as melhores normas internacionais colherão grandes frutos financeiros. O contrário também será verdadeiro. A questão mais importante se resumirá em saber se a economia dos países será capaz de inovar (EZELL, ATKINSON, 2014).

As empresas americanas continuam sendo as mais inovadoras do mundo, elas atraem grandes talentos, têm a maioria das patentes e dominam o capital de risco. Os EUA estão na vanguarda das revoluções tecnológicas sinérgicas: energia, fabricação avançada e digital, ciências biológicas e Tecnologia da Informação (TI). As escolhas de políticas públicas irão decidir se o país ou região capitalizará as oportunidades oferecidas pela revolução tecnológica (BRITO et al, 2018).

As cidades são os motores do crescimento econômico. A velocidade e a amplitude com que as cidades absorvem e implantam tecnologias apoiadas por estruturas políticas ágeis vão determinar a sua capacidade de atrair talentos. Metade da população mundial, no entanto, não tem celular, e 450 milhões de pessoas ainda vivem fora do alcance do sinal de telefonia móvel (DUTTA; GEIGER; LANVIN, 2015). As cidades podem se tornar locais de experimentação e polos poderosos para transformar novas ideias em valor real para as economias locais e globais. Nesse sentido, onde estão hoje as melhores cidades? Nova York, Londres, Helsinque, Barcelona e Amsterdam (SAUNDERS; BAECK, 2015).

Um mundo hiperconectado, com desigualdade crescente, pode levar ao aumento da fragmentação, da segregação e da agitação social, o que pode ocasionar um extremismo violento. A perspectiva de criação de uma plataforma comum para o enfrentamento das questões de segurança internacional é um desafio mais exigente.

A busca por trabalho, o desejo de estudar e a necessidade de proteção acarretam a procura por soluções no exterior. Haverá uma redefinição das identidades: identidades são mais fungíveis, substituíveis (lugar, grupo étnico, idioma). Por exemplo, hoje as crianças jogam PlayStation 4 com colegas estrangeiros, e estes se tornam seus amigos de PlayStation. Há também a redefinição da identidade familiar: cada vez mais a unidade familiar está sendo substituída pela rede familiar transnacional (BRITO et al, 2018).

O futuro pode trazer o remapeamento dos mercados de trabalho, nos quais os trabalhadores dos países em desenvolvimento constituem uma reserva dos recursos humanos

que pode satisfazer necessidades do mercado do mundo desenvolvido. Um efeito colateral disso é o mundo privar-se da linhagem de seu valioso capital humano (WORLD ECONOMIC FORUM, 2015).

A Quarta Revolução Industrial dá aos indivíduos maneiras mais diversificadas de prejudicar os outros em grande escala. Sentimo-nos mais vulneráveis. O grande desafio para a maioria das sociedades será saber como absorver e acomodar a nova modernidade ao mesmo tempo que mantém bons aspectos do nosso sistema de valores. Manuel Castells (2014) afirma: “Em todos os momentos de grandes mudanças tecnológicas, pessoas, empresas e instituições sentem a profundidade das mudanças, mas costumam ser derrotados por elas por pura ignorância de seus efeitos.” (CASTELLS, 2014, p. 37-40, tradução nossa).

A desigualdade poderá ser agravada nesta quarta revolução. Robôs e algoritmos substituem o trabalho por capital. Um número limitado de competências sobressai. Plataformas digitais e o mercado conectado concedem recompensa para um número pequeno de estrelas. Vencedores serão aqueles ligados à inovação. O mundo da conectividade poderá criar riscos sociais significativos se as pessoas sentirem que não vão atingir um nível de prosperidade ou obter significado para suas vidas.

A mídia digital e social traz benefícios e riscos para a sociedade. A noção de pertencer deixa de ser física e passa a ser digital. Há maior interação entre as pessoas em razão da eliminação de fronteiras. A mídia social (Google Maps e Facebook) ajuda imigrantes em seus deslocamentos (GOLDBERG, 2015). Há o risco de que as mídias sociais espalhem ainda mais propagandas e mobilizem mais seguidores com intenções extremistas, como já faz o Estado Islâmico.

Diante de tanto conteúdo de informação disponível em canais digitais, segundo Turkle (2015 apud SCHWAB, 2016, p. 103), o indivíduo tende a estreitar e a polarizar sua fonte de notícia. É o risco da “espiral do silêncio”. Essa mídia molda nossas opiniões.

A quarta revolução afeta o indivíduo em seu senso de privacidade, padrões de consumo, tempo dedicado ao trabalho e ao lazer, à carreira e às competências. Ela vai influenciar o modo como conhecemos as pessoas, as hierarquias de que dependemos, a saúde e poderá, no futuro, fazer-nos questionar a própria existência. O mundo poderá ser polarizado entre aqueles que abraçam as mudanças e aqueles que resistem a elas.

A tecnologia da Inteligência Artificial (IA) tem procurado antecipar nossos pensamentos. Netflix e Amazon possuem algoritmos para prever o que possivelmente desejaremos. Sites de namoro e colocação profissional também. O que faremos?

Confiaremos, no futuro, em um conselho de um amigo ou familiar ou no conselho de um algoritmo? Consultaríamos um médico robô que poderia dar diagnósticos corretos ou um médico humano que nos conhece há anos e que nos tranquiliza?

Em 1971, Herbert Simon (apud SCHWAB, 2016, p. 104), Nobel de Economia, afirmou: “A riqueza de informações cria pobreza de atenção.” Existe uma tendência de a conexão humana se transformar na era digital. Um estudo de 2010, da Universidade de Michigan, revela 40% de declínio da empatia entre estudantes universitários (KONRATH; O’BIEN; HSING, 2010). De acordo com Sherry Turkle (2015 apud SCHWAB, 2016), do MIT, 44% dos adolescentes nunca se desplugam, e ela ainda afirma: “O fato de estarmos conectados nos tira o tempo de fazer pausa, refletir e iniciar uma conversa séria sem auxílio da tecnologia” (TURKLE, 2015 apud SCHWAB, 2016, p. 103).

Pico Iyer (2014 apud SCHWAB, 2016, p. 104) demarca a sua posição da seguinte maneira: “Nesta época acelerada, nada pode ser mais emocionante do que ir devagar. Nessa época de distrações, nada é tão luxuoso quanto prestar atenção... nada é tão urgente como sentar-se em silêncio”. Hoje nossos gestores estão acelerados e estressados constantemente com o excesso de coisas. Nesse sentido, parece ser difícil dar um passo atrás, mas não é impossível.

Nossa privacidade está constantemente sendo negociada (SEGRAN, 2015). São muitos os dispositivos que usamos rotineiramente. A privacidade é essencial para nossos “eus”. Mesmo quem diz não ligar para a privacidade, por não ter nada a esconder, precisa dela. Fazemos e dizemos coisas que não queremos que ninguém mais saiba. Cabe a cada um de nós garantir que seremos servidos e não escravizados pela tecnologia.

Para enfrentar os desafios da Quarta Revolução Industrial precisamos adaptar, dar forma e aproveitar o potencial das rupturas, ao aplicarmos quatro diferentes tipos de inteligência:

- a) Contextual (mente): conforme Nohria (apud SCHWAB, 2016), como compreendemos e aplicamos o nosso conhecimento. Trata-se de nossa capacidade de antecipar tendências e ligar os pontos. É necessário evitar a mentalidade de silo. A abordagem deve ser holística, flexível e adaptável.
- b) Emocional (coração): como integramos pensamentos e sentimentos, bem como nos relacionamos com os outros e com nós mesmos. A diferença entre grandes líderes e líderes comuns está no seu grau de inteligência emocional e na capacidade de a cultivar continuamente.
- c) Inspirada (alma): como usamos os sentimentos de individualidade e propósito compartilhado e virtudes para efetuar mudança e agir para o bem comum. É preciso

fomentar o impulso criativo. Temos de desenvolver um senso de propósito comum. Confiança é uma qualidade fundamental, que pode ser obtida se baseada no bem comum e não no individual.

- d) Física (corpo): é o cuidado com o corpo para estarmos preparados. Esse cuidado significa nutrir o bem-estar e a saúde pessoal, pois a aceleração do ritmo das mudanças e o aumento da complexidade e do número de agentes envolvidos em nossos processos decisórios deixam claro que precisamos nos manter em forma para lidar com a pressão imposta por essa quarta revolução (Nohria, apud SCHWAB, 2016).

A era em que vivemos marca a primeira vez na história da humanidade em que as atividades humanas são a principal força de transformação de todos os sistemas de manutenção da vida na Terra. Temos, portanto, uma responsabilidade muito grande diante de nós.

Temos a capacidade de influenciar o caminho para o futuro, mas seria ingenuidade afirmar que sabemos exatamente para onde a Quarta Revolução Industrial nos levará. Ao mesmo tempo seria também ingênuo ficar parado por medo ou devido à incerteza sobre o que poderá acontecer.

Certamente os desafios são tão assustadores quanto as oportunidades são convincentes. Para enfrentar este futuro pavimentado pela quarta revolução precisamos aumentar a conscientização de que não podemos pensar de maneira compartimentada, temos de ter uma mentalidade inclusiva, que integre os vários ecossistemas, que reúna o público e o privado e as mentes de todas as origens e mais informadas do mundo. Será necessário também desenvolver narrativas positivas, comuns e abrangentes sobre como podemos moldar essa revolução. Tais narrativas devem explicitar os valores e princípios éticos que nossos futuros sistemas devem encarnar. Esses desafios exigirão contínua cooperação e diálogo – local, nacional e supranacional (BRITO et al, 2018).

Para Martin Nowak e Roger Highfield (2012), a cooperação é a única coisa que irá redimir a humanidade. Ela tem sido a principal arquiteta de 4 bilhões de anos de evolução e poderá ser fator-chave para conseguirmos direcionar os grandes desafios que o mundo enfrenta. Ao final, tudo vai depender das pessoas, da cultura e dos valores. Dessa forma, precisamos trabalhar muito para que todos entendam a necessidade de dominar a Quarta Revolução Industrial e seus desafios civilizacionais. As pessoas precisam estar em primeiro lugar, pois todas essas novas tecnologias são ferramentas feitas por pessoas e para pessoas. A nova era tecnológica poderá dar início a um novo renascimento cultural que irá permitir que nos sintamos

parte de algo muito maior do que nós mesmos: uma verdadeira civilização global (NOWAK, 2012).

Após ter viajado com o autor Klaus Schwab nas páginas do livro *A Quarta Revolução Industrial* (2016), é possível afirmar que é um privilégio podermos antecipar os efeitos de uma revolução. De fato, todas as outras revoluções foram identificadas por seus efeitos na sociedade humana, mas isso ocorreu após sua passagem. Agora temos a oportunidade, uma vez convencidos do momento em que estamos, de tirar proveito dessa revolução. Como? Preparando-nos na compreensão, na aceitação e na reação ao que vai acontecer.

A transformação digital imposta por essa revolução vai nos provocar e, quer queiramos quer não, seremos envolvidos por ela. Esse envolvimento pode ser ativo ou passivo, vai depender de nossas escolhas, do quanto estaremos atentos. A oportunidade existe para todos, mas é identificada apenas por aqueles que estão preparados. Nesse sentido podemos dizer que o Brasil não é apenas o país do Agronegócio. Não. Somos também formadores de engenheiros, precisamos fazer valer uma vocação em formação tecnológica, pois “a ação técnica tende a tomar características únicas e irrepetíveis no desempenho individual” (PINTO, 2005, p. 24).

A Indústria 4.0 traz a máquina e a tecnologia para a rotina da nossa sociedade, a mediação entre o homem e a máquina se explica sob a forma de trabalho automatizado e da invenção de máquinas reguladoras e diretoras de linhas de produção (PINTO, 2005).

Esse é um tema de interesse de pensadores no mundo inteiro, no qual se ocupam com a relação homem e máquina. Essa relação nos coloca diante de indagações as quais também Pinto (2005) se faz: será que é o homem o único ser a quem se possa atribuir a qualidade de ser pensante ou as máquinas atuais poderão ser também consideradas possuidoras de pensamento? O próprio autor responde dizendo que a compreensão sobre esse fundamento é nos anteciparmos à máquina e chegarmos ao seu antecedente natural: o homem, o ser que a cria e a projeta. A máquina somente se justifica na sua base social como fruto do processo social e do pensamento do homem, ou seja, da cultura. A máquina é uma criação do homem, resultado de uma complexidade crescente das relações sociais do processo de sua formação como ser biológico, em virtude do desenvolvimento da ideação reflexiva e do ato de inovar as operações que exerce sobre a natureza (PINTO, 2005).

O modo pelo qual o homem vê o mundo tem como uma das causas condicionadoras a natureza do trabalho que executa e a qualidade dos instrumentos e processos que emprega. Sendo assim, essa clareza será dada por um processo educativo no qual a periferia, neste caso o Brasil, consolida uma educação de projeto de nação desenvolvida, em que a alfabetização seja

plena. Desse modo, não basta o país alcançar o grau de uma nação totalmente alfabetizada no papel, mas deve, na realidade, ser “alfabetizada em escala zero” (PINTO, 2005). Ainda segundo esse autor, o analfabetismo não é uma essência por si só, mas sim um grau do próprio alfabetismo, havendo, assim, a necessidade de se sobressair, desligar-se dessa realidade enganosa, ocorrendo, desse modo, um enfrentamento de uma consciência crítica com a ingênu.

O Brasil está diante do início de um novo período do desenvolvimento da humanidade, em que barreiras competitivas históricas estão se alterando, criando oportunidades e desafios tanto para a adoção quanto para a criação de tecnologia. Talvez as mudanças nas barreiras não sejam suficientes para justificar tentativas que busquem tornar o país uma referência em *hardware*, máquinas e equipamentos, nem alterem sua posição já consolidada como produtor importante desses bens. Por outro lado, na área de desenvolvimento de *software*, especificamente com relação ao desenvolvimento de *software* para integração de sistemas comerciais ou industriais, podemos nos orgulhar de sermos aptos e ávidos na produção de soluções inovadoras voltadas aos negócios, que contribuem para a produtividade geral da economia.

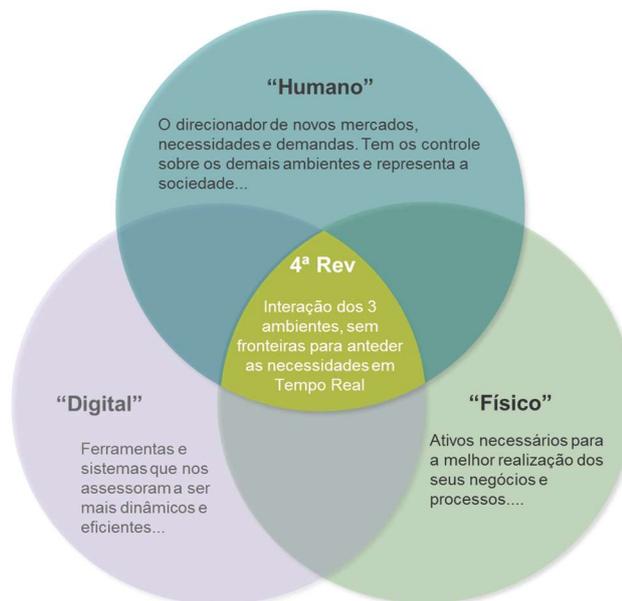
De acordo com o que se pode ver em *O Conceito de Tecnologia* (PINTO, 2005), é um erro primordial olhar para as coisas produzidas a partir da técnica simplesmente, “pois a verdadeira finalidade da produção humana consiste na produção das relações sociais, a construção de formas de convivência” (PINTO, 2005, p. 57). A partir da filosofia, Pinto (2005) percorre e pensa o nacionalismo a partir da nossa situação de periferia do sistema mundial. Nesse contexto, existe a defesa de um projeto amplo e nacional como única alternativa viável para almejar o desenvolvimento econômico, que engloba o propósito de rompimento de uma dinâmica, ideologicamente disseminada como universal, que é a do domínio do centro da tecnologia por poucos e segundo a qual seria reservado aos países da periferia a condição de acolhedor das inovações técnicas.

Polivalência e ambidestria desafiam a formação clássica, dura, rígida e cartesiana, de baixo condicionamento à flexibilidade. Como as características populacionais estão se modificando, há também uma sinalização no sentido de que novas estratégias deverão ser adotadas para prover condições eficientes de formação tecnológica não só para o trabalho, mas para a existência humana. A formação em engenharia no Brasil, aproveitando-se da citação de Klever Corrente Silva, necessita estar dimensionada para um mundo incerto e que tem demanda por flexibilidade (SILVA, 2019).

2.2 Os motores da Quarta Revolução Industrial

Conforme o apresentado anteriormente, o Prof. Dr. Schwab (2016) aponta que a Quarta Revolução Industrial está sendo impulsionada pelo fim dos limites entre os mundos digital, físico e biológico, o que está exemplificado na Figura 1. Nesta, no ponto de encontro entre os três mundos, surge um novo mundo, no qual estão contidos a Indústria 4.0, a Saúde 4.0, o Hospital 4.0, a Cidade 4.0, enfim todos os setores e agentes do mundo que conhecemos em uma versão transformada pelo fim dos limites entre os mundos físico, biológico e digital.

Figura 1 – O mundo 4.0 como união das três esferas



Fonte: elaborada pelo autor.

Megatendências são um conjunto de forças socioeconômicas, ambientais, tecnológicas e políticas, com capacidade de transformar o mundo como o conhecemos. Elas são o insumo para o constante remodelamento dos mercados, seja na forma de comportamentos da sociedade, modelos político-econômicos ou mesmo no direcionamento das descobertas tecnológicas. De forma análoga à maneira como foi trabalhada a obra do Professor Schwab (2016), será utilizada, a partir de então, uma fonte de informações para a realização da conexão entre as megatendências e as tecnologias digitais. O material é o relatório *Technology and Innovation Outlook 2016* (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a), no qual são apresentadas oito megatendências: crescimento demográfico, recursos naturais e energia, mudanças climáticas e meio ambiente, globalização,

papel do governo, economia, empregos e produtividade, sociedade, saúde, equidade e bem-estar (Figura 2).

Figura 2 – Principais megatendências



Fonte: adaptada de ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (2016a, p. 25).

Entre as megatendências, a primeira a ser analisada é a referente à questão demográfica, porque esta atinge áreas nas quais a tecnologia terá papel fundamental, seja na qualidade de vida das pessoas, na crescente demanda produtiva ou nos desafios de abastecimento para um consumidor cada vez mais conectado e exigente.

Como certeza, coloca-se a continuidade do crescimento populacional, que pode alcançar, em meados do século XXI, a marca de 10 bilhões. Não obstante o crescimento, haverá a acentuação do envelhecimento da população, e as pessoas com mais de 80 anos representarão 10% da população mundial em 2050, em face dos 4% em 2010 (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Os efeitos diretos do cenário demográfico que vivenciamos podem ser sentidos na atualidade. Sem muita dificuldade já são observados países anteriormente conhecidos como fornecedores de mão de obra barata se tornando potências globais, como, por exemplo, a China e a Índia, que, apoiadas por estratégias de tecnologia, hoje são conhecidas como economias de vanguarda em diversos segmentos.

Isso significa que aquilo que antes era uma produção baseada em processos manuais hoje se apoia em automação, inteligência artificial e conectividade, o que resulta em uma concorrência de trabalho semelhante àquela de países considerados desenvolvidos. Isso posto,

fatores como o crescente desemprego, o envelhecimento da população e o aumento da desigualdade social podem ser ainda maiores em um futuro próximo (BRITO et al, 2018).

Seguindo a mesma linha, com o crescimento da população, o cuidado com os recursos naturais se torna primordial. Vislumbra-se que a acentuação da escassez de água potável atingirá 60% da população global até 2050 em algumas áreas do globo, bem como uma maior demanda por alimentos (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Em contrapartida, tem-se a redução de áreas com potencial agricultável e um aumento acentuado no consumo de energia para atender às demandas do novo cenário de desenvolvimento. Nesse sentido é que a continuidade do desenvolvimento tecnológico se faz fundamental, para auxiliar na consecução de uma harmonia possível entre as novas e crescentes demandas e o equilíbrio natural e econômico (BRITO et al, 2018).

Com o crescimento populacional, o reuso de materiais associado a tecnologias aparece como saída para prover produtos, sobretudo alimentos, buscando um consumo cada vez mais sustentável dos recursos naturais e da energia. Além dos combustíveis fósseis ou minérios ferrosos, que são marca registrada da economia brasileira, a abundância aparente de recursos hídricos e a capacidade de produção de alimentos básicos para outros países devem se tornar pilares para a aplicação das tecnologias digitais. O objetivo dessa mudança é não apenas sustentar a vantagem competitiva do país, mas ampliar a oferta de empregos, investimentos e visar a uma vanguarda tecnológica nessas áreas. Como evidência desse movimento, de acordo com um estudo realizado com 98 empresas do agronegócio, em 29% delas o investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) é maior do que 10% da sua receita anual (ONDEI, 2020).

Como consequência mais evidente das megatendências anteriores, o clima e o meio ambiente passam por cenários cada vez mais imprevisíveis, por mais que as inovações tecnológicas já sejam necessárias para habilitar uma grande, séria e necessária transformação em toda a sociedade. O que se busca alcançar é uma “economia circular” de baixo teor de carbono, para redução contínua de emissões de gases de efeito estufa, gases poluentes, poluição de mananciais e impactos gerados pela crescente população (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Outro aspecto a ser observado é a globalização, possibilitada pela adoção de tecnologias cada vez mais atualizadas. A tendência de globalização econômica, social, cultural e política ocorre por meio de fluxos de bens, serviços, investimentos e ideias, também atingidas pela adoção generalizada de tecnologias digitais. Tal adoção propiciou a redução dos custos com meios de transporte e de comunicação, facilitando e acelerando as operações. O processo de

globalização enfrenta desafios como a instabilidade geopolítica, possíveis conflitos armados e barreiras de comércio entre os países (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Ainda que a globalização fortaleça as relações internacionais entre os países, é muito relevante destacar o papel dos governos. Estes serão obrigados a responder aos muitos desafios que serão direcionadores para o futuro. Desafios como a adaptação da sociedade às transformações tecnológicas, a busca por alternativas para a força de trabalho que seja menos preparada para o advento das tecnologias digitais, a crescente pressão fiscal, a manutenção da credibilidade pública no governo e a transição contínua para um mundo multipolar também se incluem nas responsabilidades dos governos. Além disso, é preciso mencionar que, em algumas configurações, as estatais são prestadoras de serviços para a sociedade e devem se atualizar constantemente para reduzir seus custos, diminuir a burocracia e melhorar o atendimento aos cidadãos. Isto posto, ainda vale destacar o papel de aumentar a credibilidade dos governos, uma vez que apenas 48% dos cidadãos dos países da OECD confiam em seus governos (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

No âmbito privado, economia, empregos e produtividade continuarão sendo seriamente afetados pelas tecnologias digitais. Em linhas gerais, segundo o relatório da OECD (2016a):

[...] Nos próximos 15 anos, as empresas se tornarão predominantemente digitalizadas, permitindo que os processos de design, fabricação e entrega de produtos sejam altamente integrados e eficientes. Os custos de equipamentos e computação continuarão a cair, enquanto o surgimento de práticas de desenvolvimento de código aberto criará novas comunidades de desenvolvedores. Haverá uma maior oportunidade para os participantes - incluindo indivíduos, pessoas fora do meio corporativo, empresas e empresários - terem sucesso em novos mercados. Ao mesmo tempo, a diminuição do custo de computação e avanços no aprendizado de máquinas e inteligência artificial ainda perturbam os mercados de trabalho. (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a, p. 57).

Uma cadeia de abastecimento conectada contribui para a melhoria da produtividade. Quanto mais frentes pontuais existam, mais as cadeias de valor necessitam de capacidade de resposta e conectividade. Cadeias mais conectadas e com respostas mais dinâmicas consomem menos recursos ambientais e causam menos impacto no meio ambiente.

A população global será cada vez mais urbana, com 90% desse crescimento ocorrendo na Ásia e na África. (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). A urbanização poderia trazer vários benefícios aos países em desenvolvimento, incluindo melhor acesso à eletricidade, à água e ao saneamento. Para tanto, tem-se observado a necessidade do aprimoramento de conceitos de “cidades inteligentes”

(*smart cities*) a fim de suprir as crescentes demandas, de forma mais sustentável, administrando melhor os recursos, lançando-se mão da tecnologia e aplicando-a à interconectividade dos sistemas de transportes e utilidades públicas diversas.

Quanto à estrutura familiar, esta vem se alterando ao longo das décadas: famílias reduzidas, ou até mesmo de uma única pessoa; filhos em situação de guarda compartilhada; casais em união estável ou casados, mas morando separadamente; pais e mães solteiros; casais formados por pessoas de mesmo sexo etc. (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Todos esses modelos de estrutura familiar exigem produtos mais customizados.

Além disso, observa-se, com o crescimento da migração, uma diversidade de cultura e valores. O papel da tecnologia está nas demandas por inovação e no aumento do consumo para esses novos perfis familiares, da mesma forma que o aumento da idade média necessita do desenvolvimento de produtos tecnológicos de cuidados específicos.

Um importante aspecto é o crescimento feminino em todos os níveis de educação, com forte reflexo no crescimento econômico, no mercado de trabalho, na vida familiar, nos moldes de cuidado das crianças e dos mais velhos e, também, no perfil das pesquisas, sob o prisma do olhar das mulheres, as quais passam a integrar grande parte da produção científica. Conforme mencionado pela Ernst & Young (2017b), apenas 20% da força de trabalho STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) é composta por mulheres e outros grupos minoritários, número que vem sendo questionado constantemente.

Seja impulsionado por crescimentos populacionais desordenados, seja por modelos familiares mais diversificados, igualdade de gênero ou mesmo pelo envelhecimento da população, o mercado está em constante crescimento; no entanto, agora com menor padronização. A questão que se coloca, portanto, é se as empresas estão de fato preparadas para um consumidor que exige produtos mais personalizados e que tem voz ativa em todos os canais de comunicação.

Acredita-se que a renda *per capita* irá crescer rapidamente, acentuando-se o acúmulo de riqueza (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Países como a Índia e a China tendem a experimentar um melhor crescimento econômico, principalmente pelo fato de investirem em educação e em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), incentivando as pesquisas e o avanço tecnológico, e isso se justifica porque novas tecnologias requerem novas habilidades para serem utilizadas. Tal requisito contribui para o desemprego e para a desigualdade, ao mesmo tempo em que destaca a

necessidade de treinamentos constantes e do aprendizado de novas habilidades.

Não há dúvidas de que a tecnologia promove a inclusão social, o crescimento econômico e digital. Ela possibilita ainda o acesso à educação, aos serviços financeiros e a outros serviços baseados no conhecimento. Outro aspecto a ser considerado é o fato de que a tecnologia estimula o empreendedorismo pelo fácil acesso às informações, pela troca de experiências entre outros fatores.

Não obstante o cenário de projeção do crescimento da renda *per capita* global, também se tem a expectativa do aumento das desigualdades sociais e do abismo entre classes, sobretudo no que tange ao acesso à saúde (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Um grande progresso tem sido observado na batalha contra doenças graves, como malária, AIDS e tuberculose, reduzindo drasticamente a taxa de mortalidade nesses casos. Em contrapartida, observa-se um consumo abusivo de medicamentos antibióticos, o que tem levado à redução da eficácia e eficiência desses medicamentos. No entanto, não apenas o consumo abusivo é responsável por esse efeito, também um aumento da resistência global dos patógenos. Não se pode esquecer da maior movimentação de massas populacionais possibilitada pela globalização, o que facilita a difusão de vírus e bactérias e dificulta o desenvolvimento de medicamentos para determinados ambientes geográficos.

Apesar do relatado sobre a redução das mortes por doenças de notificação compulsória (AIDS, malária, tuberculose etc.), espera-se que as demais doenças apresentem uma epidemia de mortes por fatores diversos, quais sejam: envelhecimento demográfico, urbanização acelerada e não planejada, globalização de estilos de vida pouco saudáveis, como o consumo de comida sem responsabilidade, redução de atividades físicas, excesso de horas de trabalho e redução de horas de sono (BRITO et al, 2018).

As pesquisas e o desenvolvimento biomédico levaram ao aumento da longevidade e à melhoria da qualidade de vida observada hoje em dia, a qual há de ser percebida cada vez mais com o passar dos anos.

Segundo a OECD, as pesquisas farmacêuticas enfrentarão enormes desafios nas próximas décadas a partir do uso de tecnologias convergentes para desvendar áreas da genética e bases bioquímicas de doenças. Avanços tecnológicos em sequenciamento de DNA, tecnologias de informação, biologia sintética e edição de genes deram aos pesquisadores novas ferramentas para decifrar e tratar doenças crônicas (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b). Com a imensa disponibilização de dados médicos promovida pela inteligência artificial, a OECD prevê que será mais fácil para os

médicos tomarem suas decisões. Além disso, outras áreas das novas tecnologias, como a robótica e as neurotecnologias, devem igualmente entrar a serviço da medicina em larga escala (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

2.3 As tecnologias e tendências digitais

O avanço tecnológico recente também pode ser entendido como uma megatendência, pois tem remodelado economias, empresas e sociedades durante a nossa existência. Desde a década de 1950, muitos métodos e estimativas de prever como as tecnologias poderiam afetar a sociedade foram utilizados, com mais ou menos acuidade. Entretanto, o que tem acontecido nos últimos 20 anos é que as novas tecnologias estão conduzindo ao delineamento de cenários futuro e não mais à previsão de seus impactos na sociedade (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Entre as frentes do avanço tecnológico, o resultado aparente pode ser dividido em quatro áreas do conhecimento que afetam diretamente a sociedade. São elas:

- 1) Digital – avanços digitais são aqueles compreendidos pelo avanço das áreas computacionais e sua interferência no meio em que se inserem, seja tal interferência em comportamentos humanos, seja em máquinas e equipamentos.
- 2) Biotecnologia – avanços na biotecnologia são aqueles que compreendem os meios biológicos, associados a tecnologias digitais e a materiais avançados, que têm ultrapassado as fronteiras do diagnóstico e do material biológico.
- 3) Energia e Meio Ambiente – sistemas e equipamentos para elevar os níveis de armazenamento, transmissão e geração de energia, bem como fazer com que esses novos níveis reduzam custos.
- 4) Materiais Avançados – materiais que substituem o meio físico com novas propriedades físico-químicas para suportar os avanços nas áreas digitais de biotecnologia e energia (BRITO et al, 2018).

Nesse contexto, as novas tecnologias se associam às necessidades que ainda não são conhecidas, mas que podem modelar o futuro da sociedade a partir de cenários ainda desconhecidos.

No Quadro 3 são apresentadas as tecnologias que despontam como as principais tendências atuais e, dentro desse grupo, dá-se ênfase às dez tecnologias habilitadoras das demais. Na primeira coluna, à esquerda, estão listadas as *Frentes de Avanço Tecnológico*, e nas

demais cinco colunas, à direita, mostra-se o aglomerado de *tecnologias* que compõem as referidas frentes.

Quadro 3 – As principais tecnologias emergentes para o futuro e as dez mais relevantes

Frentes de Avanço Tecnológico	Tecnologias				
Digital	Internet das Coisas	Inteligência Artificial	Big Data Analytics	Blockchain	Cloud Computing
	Grid Computing	Quantum Computing	Robotics	Modeling Simulation and Gaming	Fotônica
Biotecnologia	Bioinformática	Medicina Personalizada	Monitoramento da Saúde	Bioimagem	Neurotecnologia
	Bio-chip e Bio-sensor	Células tronco	Medicina Regenerativa e Recuperação de Tecidos	Bio catálise	Biologia Sintética
Energia e Meio Ambiente	Smart Grids	Micro e Nano Satélites	Agricultura de Precisão	Biocombustíveis	Veículos autônomos
	Micro geração de energia	Armazenamento Automático de Energia	Energia do Hidrogênio	Drones	Veículos Elétricos
	Energia solar	Energia do Vento	Energia das marés	Captura e Armazenamento do Carbono	
Materiais Avançados	Nanomateriais	Materiais Funcionais	Manufatura Aditiva	Nanotubos de Carbono e Grafeno	Manufatura Aditiva

Fonte: adaptado de ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (2016a, p. 79).

2.3.1 Frente de Avanço Tecnológico – Digital

a) Internet das Coisas – *Internet of Things* (IoT)

A IoT promete uma sociedade conectada e com capacidade de responder digitalmente. Isso terá um profundo impacto em todos os setores da economia e da sociedade, além de oferecer um grande potencial para apoiar o desenvolvimento humano, social e ambiental. Entretanto, questões éticas quanto à segurança dos dados ainda permeiam as discussões sobre o direcionamento dessa tecnologia (BRITO et al, 2018).

A Internet das Coisas compreende equipamentos e objetos que podem alterar seu estado de acordo com a internet, com ou sem o contato humano. O termo abrange, além dos objetos já conectados como *smartphones*, *laptops* e *smart TVs*, também qualquer objeto no espaço público, espaço de trabalho e residências. Esses objetos se comunicam e trocam informações que podem ser repassadas para outros equipamentos.

Além da conexão entre equipamentos, os novos sensores e atuadores podem conectar seres humanos com outros animais, como rebanhos ou animais de estimação, com ambientes e, também, com materiais, como o ar e a água (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016b). O nível de monitoramento pode ser utilizado para a saúde, localização e qualquer tipo de atividade que esteja sendo realizada.

Com a Internet das Coisas associada a outras tecnologias, como *Big Data e Analytics*, é possível manter comportamentos ou mudar seu estado por meio de padrões, matriz de decisões e inteligência artificial, tornando os objetos cada vez mais autônomos. A evolução ocasionada pela IoT tem causado certa surpresa na sociedade, principalmente nos mercados de trabalho, desenvolvimento, produção e distribuição.

- i) *Smart Health*: A IoT propicia oportunidades para oferecer melhores cuidados de saúde e, conseqüentemente, melhorar a saúde das pessoas, conectando sensores corporais internos e externos a dispositivos pessoais de monitoramento de saúde e sistemas de saúde profissionais. Em particular, esses dispositivos permitirão o monitoramento remoto de pacientes em casa e no trabalho (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015a). Como exemplo, dispositivos IoT bionano que monitoram e gerenciam riscos internos e externos para a saúde podem estar emergindo (AKYILDIZ et al., 2015 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b). Dessa forma, o tratamento de pacientes com doenças crônicas, em particular, deve se tornar mais eficiente (MANYIKA, J. et al., 2013 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b).
- ii) *Fábricas Inteligentes*: a IoT também afetará a fabricação de objetos, melhorando as operações e o gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b). Processos de negócios existentes – como a logística do produto, gerenciamento de inventário e manutenção de máquinas – mudarão radicalmente. Os resíduos e perdas podem ser significativamente reduzidos usando sensores e circuitos inteligentes. A IoT oferece dados e ferramentas para criar inteligência abrangente de cadeia de suprimentos. Combinado com os avanços na robótica, isso pode levar a processos de produção totalmente automatizados, da personalização pelo usuário das especificações para a entrega final (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015a)

A IoT continuamente conecta as etapas da cadeia de suprimentos, seja por meio da conexão dos clientes com as áreas comerciais em seus bancos de dados de CRM (*Customer Relationship Management*), da distribuição dos seus produtos ou serviços, da gestão de suas fábricas, como no exemplo anterior das fábricas inteligentes, assim como dos seus departamentos de pesquisa e desenvolvimento.

- iii) Sistemas de Energia: as redes inteligentes (*smart grids*) habilitadas para IoT com medidores de energia inteligentes permitem a comunicação em dois sentidos, entre os consumidores de energia e, também, com a rede de energia (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b). As redes inteligentes ajudarão a reduzir os custos de operação dos serviços públicos, bem como reduzir as quedas de energia e o desperdício de eletricidade, fornecendo informações em tempo real sobre o estado da rede (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b). Além disso, a IoT permitirá que os consumidores tenham informações em tempo real sobre o uso de energia e irá ajudá-los a gerenciar seu consumo com base em programas de preços inteligentes (já implementados em áreas dos Estados Unidos), que incentivam o menor uso de energia.
- iv) Sistemas de transporte: A IoT já tem sido responsável pela melhoria da gestão dos transportes e da segurança rodoviária. Os sensores ligados aos veículos e aos elementos da infraestrutura rodoviária podem ficar interligados, gerando informações sobre os fluxos de tráfego e o *status* técnico dos veículos e da própria infraestrutura rodoviária. Já os *smartphones* são usados ativamente pelos provedores de navegação para monitorar o uso da estrada e fornecer aos usuários atualizações de tráfego em tempo real. Os semáforos e os sistemas de pedágio podem ser melhor adaptados ao uso real da estrada, os serviços de emergência podem ser disparados automaticamente e a proteção contra o roubo de carros pode ser aprimorada (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b). O tráfego nos grandes centros urbanos já demonstra sinais de alívio em razão do uso de aplicativos cada vez mais inteligentes.
- v) Cidades inteligentes e infraestrutura urbana conectada: além de redes de energia e tráfego de veículos inteligentes, a IoT é promissora para outros ganhos de eficiência no funcionamento das cidades. Sensores integrados em contêineres de lixo e na infraestrutura de gerenciamento de água permitem a racionalização da coleta de lixo

e podem melhorar o gerenciamento de água (MANYIKA, J. et al., 2013 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b). Além disso, os cidadãos podem usar serviços baseados em localização em seus telefones celulares para terem uma maior participação cívica (por exemplo, para denunciar danos às estradas e outros tipos de infraestrutura), bem como para fornecer aos planejadores das cidades novas informações sobre o uso de estradas públicas (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b).

- vi) Governo inteligente: como no caso dos processos de fabricação, o monitoramento em tempo real habilitado para IoT e sistemas inteligentes pode beneficiar o setor público. O governo inteligente deve combinar tecnologias de informação, comunicação e operacional para planejar e gerenciar operações nos diferentes níveis de governo para aumentar a eficiência e oferecer melhores serviços públicos (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). A grande quantidade de dados gerados pelo IoT poderia ser alavancada pelos formuladores de políticas para projetar instrumentos responsivos e adaptativos com monitoramento e avaliação em tempo real.

b) Inteligência Artificial (IA)

A Inteligência Artificial (IA) procura dotar as máquinas de capacidades de raciocínio as quais um dia podem superar as de seres humanos. Embora o seu impacto total continue difícil de avaliar, os sistemas inteligentes provavelmente gerarão ganhos consideráveis de produtividade e levarão a mudanças irreversíveis nas nossas sociedades (BRITO et al, 2018).

A IA é definida como a capacidade de máquinas e sistemas de adquirir e aplicar conhecimentos e realizar comportamentos inteligentes. Isso significa que, com a IA, máquinas e sistemas têm capacidade de realizar uma ampla variedade de tarefas cognitivas, detectar e processar linguagem oral, raciocinar, aprender, tomar decisões e demonstrar a capacidade de mover bem como de manipular objetos de acordo com as situações em que se encontrem. Os sistemas inteligentes utilizam uma combinação de grande análise de dados, computação em nuvem, comunicação máquina a máquina e a Internet das Coisas para operar e aprender (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b).

A IA está contribuindo para o desenvolvimento de novos tipos de *software* e robôs que

atuam cada vez mais como agentes autônomos, operando muito mais independentemente das decisões de seus criadores e de operadores humanos do que as máquinas jamais fizeram.

c) *Big Data Analytics*

As ferramentas e técnicas de análise são necessárias para a coleta e o armazenamento de dados importantes. As implicações socioeconômicas são tremendas, mas um grande desafio político será equilibrar o acesso a esses dados com as ameaças que uma extrema exposição da vida social poderia causar à privacidade, à segurança, à equidade e à integridade das pessoas (BRITO et al, 2018).

O Big Data Analytics (grande análise de dados, em português) é definido como um conjunto de técnicas e ferramentas usadas para processar e interpretar grandes volumes de dados gerados pela crescente digitalização de conteúdo, maior monitoramento de atividades humanas e disseminação da IoT (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015c). Ele pode ser usado para inferir relacionamentos, estabelecer dependências e realizar previsões de resultados e comportamentos (HELHING, 2015).

Diversos tipos de análise de dados permitem extrair informações de dados, contextualizando-as e examinando a forma como são organizadas e estruturadas (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015c). Entre os tipos de análise de dados, a mineração de dados compreende um conjunto de tecnologias de gerenciamento de dados, técnicas de pré-processamento (limpeza de dados) e métodos analíticos com o objetivo de descobrir padrões de informações, a partir de conjuntos de dados. As técnicas de criação de perfil buscam identificar padrões nos atributos de uma determinada entidade (por exemplo, clientes ou pedidos de produtos) e classificá-los. As ferramentas de inteligência de negócios buscam monitorar as principais métricas operacionais e criar relatórios-padrão regularmente, com o interesse de informar as decisões de gerenciamento. O aprendizado automático engloba o *design*, o desenvolvimento e o uso de algoritmos que executam uma determinada tarefa ao mesmo tempo em que aprendem a melhorar seu desempenho (BRITO et al, 2018). As análises visuais são ferramentas e técnicas que permitem que os dados sejam efetivamente observados, interpretados e comunicados por meio de gráficos e figuras (muitas vezes interativos).

A grande análise de dados oferece oportunidades para aumentar a produtividade, promover um crescimento mais inclusivo e contribuir com o bem-estar dos cidadãos

(ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015c). Empresas, governos e indivíduos estão cada vez mais capazes de acessar volumes de dados sem precedentes, que auxiliam a tomada de decisão em tempo real, combinando uma ampla gama de informações de diferentes fontes. A IoT e a aceleração contínua do volume e velocidade de dados acessíveis e exploráveis acelerarão ainda mais o desenvolvimento da análise de dados.

d) *Blockchain*

Sendo considerada como a tecnologia digital que possibilita as demais, o *blockchain* é um banco de dados que permite a transferência de valor nas redes de computadores. Espera-se que essa tecnologia perturbe vários mercados, garantindo transações confiáveis entre as partes interessadas sem a necessidade da intervenção de terceiros (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). A proliferação dessa tecnologia é, no entanto, ameaçada por questões técnicas que ainda não foram resolvidas.

Os aplicativos da internet, como navegadores da *web* e programas de *e-mail*, usam protocolos que possibilitam aos equipamentos se comunicarem. Enquanto o propósito da maioria dos protocolos tradicionais é o intercâmbio de informações, o *blockchain* permite protocolos de troca de valor. Essa nova tecnologia facilita uma compreensão compartilhada do valor associado a dados específicos e, portanto, permite que as transações sejam realizadas. Em si, o *blockchain* é um banco de dados distribuído que atua como um livro público aberto, compartilhado e confiável, que ninguém pode manipular e que todos podem inspecionar. Os protocolos construídos na cadeia de blocos (por exemplo, *bitcoin*) especificam como os participantes de uma rede podem manter e atualizar registros usando criptografia e por meio de um consenso (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). A combinação de transparência, regras rígidas e supervisão constante, que potencialmente podem caracterizar uma rede baseada em blocos, fornece condições suficientes para que seus usuários confiem nas transações realizadas nele, sem a necessidade de uma instituição central. Como tal, a tecnologia oferece um potencial de custos de transação mais baixos, eliminando a necessidade de intermediários confiáveis para realizar transferências de valor suficientemente seguras. Essa tecnologia poderia perturbar os mercados e as instituições públicas, cujo modelo comercial reside na provisão de confiança por trás das transações.

2.3.2 Frente de Avanço Tecnológico – Biotecnologia

a) Neurotecnologia

As neurotecnologias emergentes oferecem grande promessa no diagnóstico, na terapia para o envelhecimento saudável e no aprimoramento humano geral. No entanto, algumas neurotecnologias levantam questões éticas, jurídicas, sociais e culturais profundas que exigem atenção política.

A neurotecnologia pode ser definida como qualquer meio artificial para interagir com o cérebro e sistema nervoso, a fim de investigar, acessar e manipular a estrutura e a função dos sistemas neurais (GIORDANO, 2012 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Isso abrange, por exemplo, a própria pesquisa cerebral: dispositivos eletrônicos que podem reparar ou substituir funções cerebrais; dispositivos de neuromodulação utilizados para tratar doenças mentais; sinapses artificiais e redes neuronais para interfaces cérebro-computador; e o desenvolvimento da Inteligência Artificial (IA).

As neurotecnologias prometem ajudar na melhor compreensão dos processos naturais do cérebro, no estudo e tratamento de distúrbios e lesões neurológicas, além de prometerem melhorar as capacidades cognitivas para aprimorar o desempenho humano. Exemplos de neurotecnologias em pesquisa e aplicação são:

- i) **Optogenética:** controle projetado, óptico de neurônios para observar e controlar sua conexão e função (HOFFMAN et al., 2015 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Essa tecnologia oferece aos neurocientistas uma poderosa ferramenta para investigar as ligações causais entre células neurais, redes e comportamento. O trabalho futuro expandirá a ciência cerebral para o domínio emocional, elucidando novos fatos sobre doenças neurodegenerativas, comportamento e pensamento (KRAVITZ; BONCI, 2013 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).
- ii) **Tecnologias de neuromodulação:** estimulação neuronal direcionada à pesquisa básica de distúrbios cerebrais. Os dispositivos de neuromodulação estão se tornando cada vez mais importantes no tratamento de distúrbios do sistema nervoso e levantam questões relacionadas à sua autenticidade e ao uso em populações

vulneráveis (por exemplo, em crianças ou doentes mentais), ao uso involuntário (por exemplo, ordenado pelo tribunal ou a pedido psiquiátrico) e ao uso não supervisionado (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

- iii) Interfaces cérebro-computador: usadas para detectar e decodificar padrões de atividade neuronal por dispositivos externos, vinculando comandos de pensamento a dispositivos externos. Os desafios técnicos permanecem, como o desenvolvimento de interfaces neurais totalmente implantáveis, não atreladas e clinicamente viáveis com a operação ao longo da vida ou o aumento do desempenho do controle de dispositivos protéticos (MAHARBIZ, 2015 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).
- iv) Nanorobôs: podem ser definidos como sistemas feitos de montagens de componentes em nanoescala com dimensões individuais que variam entre 1 nanômetro (nm) e 100 nm (MAVROIDIS; FERREIRA, 2013 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Nanorobôs podem ser injetados aos milhões na corrente sanguínea. Diz-se que eles atuam como um enxame e que possuem grande potencial no campo da neurociência, diagnóstico e terapia. Futuras aplicações podem permitir a detecção, a sinalização, o processamento de informações, a inteligência e o controle do comportamento dos enxames de nanorobôs, além de evitar as barreiras hematocerebrais. O potencial controle de TI dos nanorobôs e o comportamento do enxame em futuros diagnósticos e terapias representam um passo ainda não imaginado na inovação em saúde.

b) Biologia Sintética

A Biologia Sintética é um novo campo de pesquisa em Biotecnologia que se baseia em princípios de engenharia para manipular DNA em organismos. Ela permite o desenho e a construção de novas peças biológicas e o redesenho de sistemas biológicos naturais para fins úteis (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Espera-se que essa tecnologia tenha uma ampla gama de aplicações em saúde, agricultura, indústria e energia, mas ela também levanta grandes questões legais e éticas.

Os humanos foram envolvidos na manipulação genética por reprodução seletiva por

10.000 anos, mas foi apenas na década de 1970 que a manipulação direta do DNA nos organismos se tornou possível a partir da Engenharia Genética (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). A Biologia Sintética é um campo recente de pesquisa que introduziu uma abordagem de engenharia para a manipulação genética e é definida como a aplicação da ciência, tecnologia e engenharia para facilitar e acelerar o projeto, a fabricação ou a modificação de materiais genéticos em organismos vivos (EUROPEAN COMMISSION, 2014). Ademais, ela permite o projeto e a construção de novas peças biológicas, dispositivos e sistemas e o redesenho de sistemas biológicos naturais existentes para fins úteis (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2009).

Embora a Engenharia Genética tradicional geralmente use abordagens de teste e erro para produzir novos projetos biológicos, a Biologia Sintética tenta remodelar os sistemas vivos com base em um plano racional (DE LORENZO; DANCHIN, 2008). Para conseguir isso, a Biologia Sintética utiliza princípios de engenharia, como padronização, modularização e interoperabilidade. Por exemplo, biólogos sintéticos criam e catalogam componentes funcionais chamados “*biobricks*” com base em sequências de DNA, que podem ou não ser encontrados na natureza. Os *biobricks* executam certas funções que podem ser combinadas para produzir inovações em uma ampla gama de setores, incluindo saúde, agricultura, indústria e energia. (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a)

2.3.3 Frente de Avanço Tecnológico – Energia e Meio Ambiente

a) Micro e Nanossatélites

O aumento do uso de satélites está ocorrendo, graças aos satélites pequenos e muito pequenos, de capacidades crescentes. Isso dará aos fabricantes um amplo espectro de ferramentas sofisticadas para enfrentar desafios “grandiosos”, tanto para fins civis quanto de defesa (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Muito se tem evoluído nos últimos anos quando se trata do desenvolvimento de satélites, pois os satélites pequenos, que se tornaram mais comuns, pesam menos de 500 kg. Por exemplo, estações meteorológicas podem pesar várias toneladas, enquanto satélites de acompanhamento climático pesam em torno de 500 kg. Mesmo assim, um investimento considerável deve ser realizado para colocar esses satélites pequenos em órbita. É nesse contexto que os nano e microsatélites entram em cena, pois pesam entre 1 kg e 50 kg (BRITO et al, 2018).

Quanto menor o satélite, mais barato será construí-lo e lançá-lo. Um nano ou um microsatélite pode ser construído por cerca de 200.000 a 300.000 euros. Os pequenos satélites estão se tornando muito mais acessíveis, já que componentes da prateleira, que são itens vendidos no mercado convencional, são usados com frequência para construir plataformas de satélites e suportar a produção em massa. A maioria dos componentes eletrônicos e subsistemas necessários para a construção de um nanosatélite em casa pode ser comprada *on-line* (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2014). A principal barreira de custo continua a ser a obtenção de acesso ao espaço.

Os satélites pequenos podem ser lançados como cargas úteis secundárias por menos de 100.000 euros. Eles também podem ser implantados na Estação Espacial Internacional depois de terem sido transportados até lá como carga. Desde o lançamento do primeiro *CubeSat* em 2002, o número de satélites muito pequenos em operação aumentou a uma taxa notável. Em 2014, foram lançados 158 nano e microsatélites, ou seja, um aumento de 72% em relação ao ano anterior. Espera-se que, entre 2014 e 2020, mais de 2.000 nano e microsatélites exigirão lançamento em todo o mundo (BUCHEN; DEPASQUALE, 2014).

b) Armazenamento Automático de Energia

A tecnologia de armazenamento de energia pode ser definida como um sistema que absorve energia e a armazena por um período de tempo antes de liberá-la sob demanda para fornecer energia ou serviços de energia. São necessários avanços nessa tecnologia para otimizar o desempenho dos sistemas de energia e facilitar a integração de recursos de energia renovável. (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a)

As tecnologias de armazenamento de energia são essenciais para reduzir as lacunas temporais e geográficas entre demanda e oferta de energia. A disponibilidade de energias renováveis – como a luz solar, o vento e as marés – é intermitente e nem sempre previsível (CARRINGTON, 2016). Com fontes de energia renováveis que contribuem com uma parcela crescente de eletricidade para redes elétricas, os investimentos em tecnologias de armazenamento que permitem que o suprimento de energia seja ajustado à demanda por ela são cada vez mais importantes.

As tecnologias de armazenamento de energia podem ser divididas em elétricas, eletroquímicas, térmicas e mecânicas (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Elas podem ser implementadas em escalas reduzidas ou

grandes e de forma centralizada ou descentralizada em todo o sistema de energia. Os dispositivos de armazenamento de energia em larga escala são usados para equilibrar as flutuações de energia, enquanto os sistemas de bateria são mais adequados ao equilíbrio descentralizado, dada a sua capacidade de armazenamento limitada, tempo de carregamento longo e autodescarga (MANYIKA, J. et al., 2013 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015b).

Muito já vem sendo feito em países desenvolvidos; conforme citado pela Ernst & Young (2017a), a Sonnen, uma empresa alemã, lançou o “*eco*”, um sistema de armazenamento residencial de energia, otimizando a energia solar pela metade dos preços dos seus competidores. Além disso, foi criada uma comunidade em que os usuários do *eco* podem vender energia uns para os outros, e a energia residual pode ainda ser vendida no mercado de energia.

2.3.4 Frente de Avanço Tecnológico – Materiais Avançados

a) Nanomateriais

Os nanomateriais exibem propriedades ópticas, magnéticas e elétricas singulares que podem ser exploradas em vários campos, desde a saúde até as tecnologias energéticas (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Os nanomateriais são definidos como materiais de qualquer dimensão externa em nanoescala (10^{-9} metros) ou com estrutura interna ou estrutura de superfície em nanoescala, o que representa um intervalo de aproximadamente 1nm a 100nm (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2012). Os nanomateriais podem ser naturais, acidentais ou artificialmente projetados e fabricados.

Esses nanomateriais incluem produtos à base de carbono, metais nanoestruturados, ligas e semicondutores, nanopartículas cerâmicas, polímeros, nanocompósitos, sinterização e materiais biológicos (ZWECK, 2015 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a). Entre os materiais à base de carbono, as tecnologias de nanotubos e o grafeno são de particular interesse para fins industriais e de pesquisa. Entre os outros materiais que atualmente atraem mais atenção estão o dióxido de nanotitânio, nanozinco, grafite, aerogels e nanosilver (EUROPEAN COMMISSION, 2015 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Espera-se que os nanomateriais tenham um impacto considerável em aplicações comerciais e em muitos setores da indústria. Eles representam um avanço no controle de matéria em uma escala em que a forma e o tamanho das montagens de átomos individuais determinam as propriedades e funcionalidades de todos os materiais e sistemas, incluindo os de organismos vivos. Além disso, quando os efeitos quânticos de materiais com essa escala são explorados, emergem deles suas propriedades ópticas, magnéticas, elétricas entre outras. Isso ocorre porque os nanomateriais, em contraste com os materiais macroscópicos, mostram uma alta proporção de átomos de superfície em relação aos átomos do núcleo. Seu comportamento é basicamente o resultado da propriedade química da superfície. A maior concentração de superfície aumenta a energia superficial das partículas, fazendo com que o ponto de fusão seja cada vez menor e com que a reatividade química aumente (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

b) Manufatura Aditiva

A fabricação hoje é principalmente subtrativa, na qual os produtos são construídos usando material e removendo excesso desnecessário; ou formativa, na qual o material é forçado a tomar forma por meio de uma ferramenta de formação. O modelo de fabricação aditiva, ou Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D, abrange diferentes técnicas que criam produtos adicionando material em camadas, muitas vezes usando programação (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2015).

A adição progressiva de material para criar um produto possibilita a fabricação de produtos complexos. À medida que esses novos produtos chegam ao mercado, com maior rapidez e menor custo, novos modelos de negócio serão desenvolvidos, causando modificações consideráveis na indústria atual. No entanto, essa tecnologia ainda deve superar vários desafios, tanto técnicos quanto regulatórios, para que venha a ser difundida em grande escala (BRITO et al, 2018).

Entre as tecnologias MA mais comuns estão a modelagem de deposição fundida (fabricação de filamentos fundidos), estéreo litografia, processamento de luz digital e sinterização seletiva a laser. Os processos de impressão em 3D são usados para construir modelos, padrões ou componentes de ferramentas baseados em plásticos, metais, ceras, cerâmicas, vidro e até tecidos vivos (MURPHY; ATALA, 2014). Uma distinção pode ser feita entre três aplicações principais: a prototipagem rápida é utilizada industrialmente em P&D para

produção de modelos e protótipos; a ferramenta rápida é aplicada em fases posteriores do desenvolvimento do produto; a fabricação rápida refere-se à produção de peças de uso final, com técnicas de fabricação direta, camada por camada (HAGUE; REEVES, 2000; WOHLERS ASSOCIATES, 2014 apud ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2016a).

Muito mais pode ser discutido acerca das tecnologias digitais e dos avanços tecnológicos que ela promove, bem como se pode discutir o futuro dessas tecnologias e seus impactos na sociedade, nos mercados, na força de trabalho, na educação etc. Por ser um tópico ainda recente – parte de um movimento que começou há apenas 20 anos –, o que se vê e se menciona dele são suas consequências na atualidade. Logo, é fundamental abordar as maneiras como essas tecnologias já impactam o meio corporativo, e como o Brasil está distante desse contexto, apesar de existir neste uma quantidade razoável de iniciativas em execução (BRITO et al, 2018).

2.3.5 A megatendência ubíqua. A prioridade da tecnologia no Brasil

O relatório *Global Competitiveness Report 2017–2018*, publicado pelo World Economic Forum (WEF, 2017), traz uma boa notícia para a sociedade, que são sinais de que economia mundial está voltando a crescer, o que pode ser alavancado pela inovação gerada pela Quarta Revolução Industrial. Se por um lado o relatório traz boas notícias para o mundo, por outro, quando olhamos a posição do Brasil no *ranking*, as notícias não são favoráveis. Figurando na posição 80 do *ranking*, o Brasil recuperou uma posição em relação ao ano anterior, ficando atrás do Tajiquistão e à frente da Ucrânia (WEF, 2017).

Em pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) com 2.225 organizações de diferentes portes, no exercício de 2016, observou-se que apenas 4% das empresas utilizavam uma das principais tecnologias por trás da Quarta Revolução Industrial que é a Internet das Coisas (IoT). Ainda mais inquietante é o fato de que 86% das empresas não apontaram essa tecnologia como importante (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016). É evidente que tal resultado se refere a uma pesquisa centrada em indústrias, não podendo ser generalizado para todos os demais setores da economia, mas nem por isso deixa de ser um indicador importante de como o país está reagindo às transformações em curso.

Assim, em um cenário no qual o Brasil apresenta um baixo nível de competitividade e

que não demonstra estar percebendo a importância da tecnologia, cabe questionar qual o grau de urgência que devemos adotar em relação à necessidade de mudar o modelo mental de nossas organizações sobre a tecnologia.

2.4 A velocidade do desenvolvimento tecnológico

Na agenda atual deste início de século, a discussão sobre as tendências de máquinas substituírem a força de trabalho humana em uma série de funções é intensa e estará presente em qualquer trabalho sobre competências profissionais, principalmente envolvendo a engenharia. Um dos aspectos mais desafiadores desse debate é o questionamento sobre se as máquinas, em breve, não poderiam ocupar espaços de decisão e formulação de estratégias no topo da esfera corporativa (ALVAREZ, 2017).

Decisões de máquinas têm menor probabilidade de erro, ou de serem feitas por motivações políticas e pessoais. Se há menor risco, o custo de capital consequentemente se reduz para as empresas com maior automatização nas decisões. Segundo Brynjolfsson e McAfee (2017), está ocorrendo uma transformação na relação corrente homem-máquina. Estamos passando de uma relação em que os computadores processam os dados e as decisões cabem às pessoas para uma relação na qual as decisões são muito importantes para serem confiadas a pessoas. A possibilidade real de a máquina suplantar a inteligência humana, neste século, é possivelmente a representação máxima do poder da tecnologia. Contudo, muito antes que isso aconteça, vários outros avanços da tecnologia já serão suficientes para alterar profundamente o ambiente empresarial global.

A lei de Moore, desenvolvida por Gordon Moore, cofundador da Intel, diz que a capacidade dos circuitos dobra a cada 18 meses (MOORE, 1965 apud JOHANN, 2001). Ou seja, o poder de processamento da informática, em geral, teoricamente dobraria a cada 18 meses. Ele afirmou que o preço não iria ser alterado, nem mesmo com a quantidade de transistores por chip dobrando (MOORE, 1965 apud BRITO, 2018). Essa projeção de Moore, que tem sido confirmada até o momento, tornou-se um símbolo da velocidade dos avanços tecnológicos que vivenciamos neste início de século.

As mudanças nas tecnologias ocorrem de forma tão rápida e profunda que acabam por gerar rupturas na forma como vivemos. Quando a tecnologia digital passa a ser a principal alavanca da proposta de valor de uma empresa, inicia-se um processo de seis passos, os 6D's: digitalização, decepção, disrupção, desorganização, desmonetização, desmaterialização e

democratização (DIAMANDIS; KOTLER, 2015):

- i) Digitalização: sempre que algo possa ser representado em 0 ou 1 – da música à biotecnologia –, isso entra em crescimento exponencial. A informação digital é de fácil acesso, compartilhamento e distribuição, tudo na velocidade da internet.
- ii) Decepção: após digitalizar algo, inicialmente não se vê o crescimento rápido, pois é exponencial. Só após algum tempo é que se começa a notar o crescimento significativo.
- iii) Disrupção: o mercado/produto existente é interrompido por um novo mercado de uma tecnologia exponencial. Isso ocorre porque as tecnologias digitais superam as outras em efetividade e custo. Um exemplo disso é a indústria fonográfica, no momento em que temos *streaming* de música no telefone não temos mais a necessidade de comprar CDs.
- iv) Desmonetização: o dinheiro está cada vez mais sendo removido da equação, conforme a tecnologia vai ficando mais barata, muitas vezes até de graça. Atualmente produzir *software* é mais barato do que produzir *hardware*, e cópias são praticamente grátis.
- v) Desmaterialização: assim como o dinheiro, a parte física também está sendo separada da equação. Tecnologias contidas em aparelhos volumosos e/ou caros de antigamente, como rádios, câmeras, GPS, telefones, estão sendo compactadas em um só aparelho, como por exemplo hoje nos *smartphones*.
- vi) Democratização: uma vez que haja a digitalização, mais pessoas podem ter acesso a tudo o que for digitalizado. Tecnologias poderosas são mais exclusividade de governos ou de organizações grandes e ricas.

Diamandis e Kotler (2015) usam, para exemplificar o poder dos 6D's e do crescimento exponencial, o caso da Kodak e do Instagram. A Kodak, inventora da câmera digital nos anos 1970, optou por não modificar seu mercado e não deu atenção a seu próprio produto em potencial. A empresa não percebeu como a digitalização poderia mudar seus negócios, uma vez que as pessoas já não tiravam fotos da mesma maneira que antigamente e nem pelos mesmos motivos. O resultado dessa negligência foi o início do processo de falência da empresa em 2012. No mesmo ano, o Facebook comprou o Instagram, fundado 18 meses antes, por 1 bilhão de dólares. O Instagram, que é um aplicativo de compartilhamento de fotos digitais, tinha então apenas 13 funcionários. A Kodak, portanto, deixou que outros fizessem a revolução na indústria fotográfica (DIAMANDIS; KOTLER, 2015). A rapidez com que a tecnologia digital está mudando as empresas é a parcela mais facilmente percebida da velocidade do desenvolvimento tecnológico que experimentamos atualmente, uma megatendência ubíqua em todas as tecnologias. Nesse cenário, como nossas empresas devem reagir a esse processo acelerado de

transformação?

Para Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2010), a estratégia pode ser caracterizada como pretendida e realizada. Conforme estes autores, a maioria das empresas, quando questionadas se as estratégias realizadas ao longo dos últimos cinco anos foram as estratégias pretendidas cinco anos antes, respondem entre dois extremos, ou seja, que não foram desviadas totalmente de suas intenções ou que não foram atingidas plenamente. Isso ocorre porque o mundo real obriga as empresas a pensarem à frente e também a realizarem adaptações ao longo do tempo (MINTZBERG; AHLSTRAND; LAMPEL, 2010). Nesse sentido, é possível afirmar que nem todas as estratégias são deliberadas, muitas delas são emergentes.

A escola do *design* representa a visão mais influente do processo de formulação da estratégia, justamente porque busca atingir uma adequação entre as capacidades internas e as possibilidades externas às organizações por meio da matriz SWOT. Ela resume em duas dimensões, a interna e a externa, os principais fatores que podem afetar o desempenho de uma empresa (ANDREWS, 1980). Na dimensão interna, evidenciam-se as forças e as fraquezas (*strenghts* e *weaknessess*) que uma empresa possui para buscar seus objetivos; na dimensão externa, quais as oportunidades (*opportunities*) que podem ser aproveitadas e as ameaças (*threats*) existentes no caminho. Já faz muito tempo que o processo tradicional de formulação de estratégia demanda longos ciclos de discussão de cenários e padrões de comportamento de forças de mercado, bem como o estabelecimento de diretrizes e a construção de planos de ação. Tudo isso tem sido questionado em função da velocidade das mudanças de preferências dos clientes e das inovações tecnológicas (PORTER, 1980).

No cenário corrente, os questionamentos com relação ao pensamento estratégico tendem a ser acentuados, tendo em vista a dificuldade que o pensamento estratégico apresenta em produzir vantagens competitivas que se sustentem pelo menos a médio prazo. Em um mundo onde as tecnologias digitais estão no centro e que, além de oferecerem custo marginal zero, facilitam a imitação por reengenharia reversa, existem outras variáveis que conferem vantagem competitiva que não só as clássicas de Porter (1980): liderança em custo ou diferenciação.

A maior predominância de mercados quase perfeitos e a necessidade cada vez maior de reduzir o horizonte de tempo de produção-distribuição e das análises em geral conduzem ao enfraquecimento dessas estratégias genéricas. É possível concluir que a velocidade, hoje e no futuro próximo, seja uma das poucas vantagens competitivas restantes?

Um bom exemplo dessa revolução é o setor da moda. Há uma década esse segmento era dominado pela chamada *fast fashion*, que lançava e distribuía novas tendências em poucas

semanas; no entanto, essa dinâmica já sofria a ameaça de uma lógica “*instant fashion*”, ainda mais rápida, com produções menores e locais (THE FUTURE, 2005). Um exemplo disso é a experiência que a Nike está realizando em uma de suas lojas em Nova York, em que o cliente pode customizar um tênis e sair com o produto em 90 minutos (NUDD, 2017).

Para responder a essa velocidade do lado operacional, empresas têm utilizado metodologias ágeis para lançar protótipos de produtos e testar o mercado imediatamente, banindo longos cronogramas. Já se observa o surgimento de “*Just In Time Strategies*”, com modelos de negócios sendo alterados, “pivotados”, no curtíssimo prazo, à medida que produtos são testados e que novas preferências dos consumidores são descobertas (BROWN, 2015).

Com toda essa aceleração nas tomadas de decisão, planos de ação com horizontes de médio e longo prazo se tornam inviáveis (tipicamente, horizontes de dois a cinco anos são entendidos como de médio prazo e acima de cinco anos como de longo prazo). Isso permite questionar se os planos com horizontes de algumas semanas a noventa dias seriam o novo curto prazo; um ano o novo médio prazo; e acima de um ou dois anos o novo longo prazo. Nesse contexto, de alta frequência de mudanças, a velocidade na tomada de decisão sai do escopo de decisão dos líderes corporativos e passa a ser um dado de entrada. Para recuperar a competitividade de nossa indústria, as lideranças de nossas empresas, se ainda não estiverem preparadas para compreender as megatendências globais, bem como o papel das tecnologias nas empresas, deverão se capacitar em curtíssimo espaço de tempo. Sem tal capacitação, correm o risco de falhar nessa tarefa, o que significará manter o país em sua posição desfavorável no *ranking* global de competitividade (BRITO et al, 2018).

3 COMPETÊNCIAS NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO NO CENÁRIO 4.0

Sofremos, neste século, mudanças acentuadas em todo o tecido social. Kuhn (2009) diria que estamos em um conjunto de consciência da irregularidade, momento de reconhecimento de que o padrão vigente não mais representa ou explica a própria realidade. Vivemos tempos fluidos, um amoldamento, e esses tempos solicitam uma nova forma de compreensão e de construção. O ensino profissional e tecnológico não pode permanecer apoiado em premissas e modelos anteriores. Faz-se necessária uma atualização permanente, alinhada ao mercado profissional, para os engenheiros egressos.

O modo como utilizamos os frutos da ciência deve ser mais aplicado às práticas desafiadoras da chamada Indústria 4.0, de uma maneira intimamente relacionada às necessidades de mercado. A formatação da educação tecnológica precisa se atualizar; é necessário mudar o modelo mental para se conseguir alcançar a conexão entre o conhecimento científico e a prática do mercado, bem como mostrar sua aplicação, o saber na vida. Nesse caso, a formação em educação tecnológica assume papel fundamental (BRITO et al, 2018).

Uma fundamentação em três ações habilitadoras da nova educação se constitui dos aspectos técnico, comportamental e motivacional. Isso porque não se trata apenas do conhecimento instrumental, mas, como expressou Delors (2000), a educação é um processo para toda a vida e deve estar assentada em quatro pilares: aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser. Estamos propondo analisar as circunstâncias em que se definam as melhores estratégias para se alcançar essa nova formação de profissionais em engenharia.

Conhecer os contornos do tema e aplicá-los com responsabilidade são necessidades que cada vez mais serão exigidas no ambiente acadêmico, uma vez que as inovadoras experiências empresariais e sociais exigirão novas capacidades dos profissionais engenheiros interessados na indústria.

O presente estudo analisa o potencial transformador entre academia e sociedade, focado na educação tecnológica em engenharia. A partir de um novo olhar sobre a educação profissional proporemos melhorias, de modo a servir de alicerce para o Brasil encontrar em sua indústria maior competitividade, partindo do suporte em profissionais mais bem qualificados e bem-informados sobre as novas necessidades e modelo mental do futuro.

Esta pesquisa apresenta, ainda, em seu referencial teórico, avaliações anteriores sobre a relação entre o profissional oriundo da academia e a necessidade da indústria, sobre a gestão de sistemas em educação tecnológica e sobre sistemas de avaliação acerca da eficácia da educação tecnológica na Quarta Revolução Industrial.

Tempos modernos pedem novas soluções. O estudioso português Antonio Nóvoa nos brinda com a seguinte reflexão:

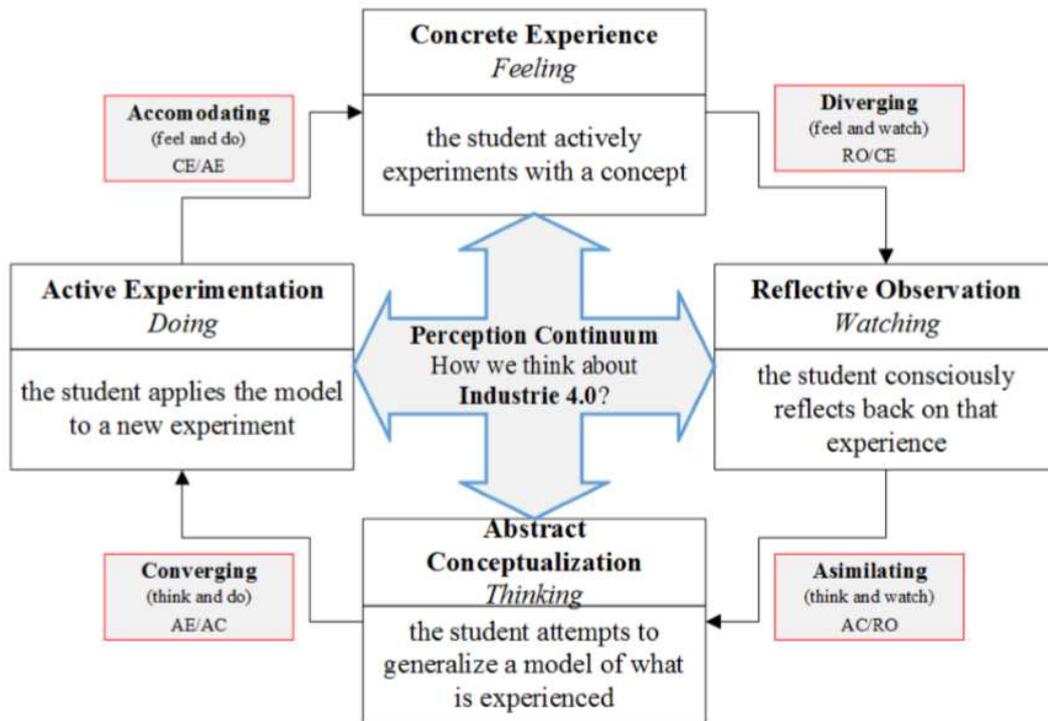
É preciso ter consciência de que os problemas da Educação e dos docentes não serão resolvidos apenas no interior das escolas. É necessário um trabalho político, uma maior presença dos professores no debate público e uma consciência clara da importância da Educação para as sociedades do século 21. (NÓVOA, 2013, n.p.).

Podemos prever que a Quarta Revolução Industrial, reunindo diversas tecnologias de ponta, deverá provocar a redução da necessidade de profissionais tradicionais. Os países com maior influência da indústria na sua economia, incluindo o Brasil, serão mais impactados, conforme foi comentado em recente evento do Fórum Econômico Mundial, na antevéspera da abertura do encontro anual de Davos, nos Alpes suíços. Essa nova revolução, unindo mudanças socioeconômicas e demográficas, terá impacto nos modelos de negócios e no mercado de trabalho, afetando todos os setores e regiões geográficas (QUARTA, 2016).

Para a análise de métodos inovadores em educação, o referencial teórico considera, a partir da constatação de que ao alinhar teoria e prática no currículo escolar, nasce a possibilidade de formar profissionais em temas relevantes e antecipará a experiência real da indústria 4.0 (COSKUM; GENÇAY; KAYICKI, 2016), os desafios que são impostos aos diferentes atores (sociedade civil, órgãos governamentais, organizações não governamentais, empresas) na busca por soluções que permitam o funcionamento do sistema educacional e sua aprimoração para a nova demanda do mercado.

Os principais contrastes do aprendizado – i) *learning from content* (aprendizado por conteúdo); ii) *learning from experience* (aprendizado por experiência); e iii) *learning from feedback* (aprendizado por *feedback*) –, conhecidos a partir do trabalho de Coskum, Gençay e Kayicki (2016), foram sintetizados na Figura 3.

Figura 3 – Modelos de aprendizado



Fonte: COSKUM; GENÇAY; KAYICKI (2016).

A arte de disseminar novas ideias, princípios e conceitos, associada à oportunidade de aplicar o aprendizado em um ambiente experimental, simulando a realidade da indústria, e à possibilidade de relacionar os acontecimentos com os resultados, será parte deste estudo de caso.

A definição de necessidades da tecnologia para a nova indústria, o impacto econômico, social e ambiental, e seu resultado e efeito, para agora e para as gerações futuras (DARIUSZ, 2016), impõem aos educadores uma preocupação não somente com a entrega do produto final de seu trabalho, o profissional, mas também com seus resultados futuros quanto ao impacto à estrutura industrial de uma nação.

Em uma nova realidade tecnológica, espera-se um impacto sem precedentes na relação trabalho, educação e identidade profissional. Buscando um referencial, no capítulo 13 do livro *Automação e Sociedade*, encontramos:

Todo o campo do trabalho, empregos e relações laborais está sendo afetado por essa revolução; trata-se aqui de ver como isso vem ocorrendo no mundo e no Brasil e levantar as questões e possíveis respostas a tais mudanças. Como parte das respostas indicam que as alterações nos modos de trabalho levam forçosamente a uma abordagem sobre novas habilidades, novos treinamentos e retreinamentos da mão de obra, é na educação que se buscarão algumas respostas e se formularão

questionamentos sobre os melhores caminhos a serem adotados, a fim de não se deixar escapar a oportunidade de preparar as futuras gerações para um mundo que já se apresenta. (BRITO et al., 2018, p. 258).

Conforme o observado em Azevedo, Apfelthaler e Hurst (2012), as formações em tecnologia nem sempre deixam os alunos confiantes na aplicação das competências ideais para o desempenho atual no trabalho, habilidades estas que serão ainda mais relevantes para suas carreiras futuras. O artigo conclui que foi identificada a lacuna existente nas expectativas dos empregadores, bem como na dos próprios graduados, em relação ao nível real de capacidade em competências-chave.

A respeito desse tema, Adriana Tonini (2011) afirma:

O futuro profissional de engenharia, fundamentado nos ensinamentos adquiridos durante sua formação acadêmica, deve demonstrar capacidade de criação, produção e elaboração – capacidade adquirida no exercício prático-teórico – inclusive no campo das novas tecnologias – característica indispensável para os engenheiros no mundo atual, em que os avanços tecnológicos se multiplicam rapidamente. (TONINI, 2011, p. 2).

Tal constatação nos lembra de que a demanda da sociedade quanto ao conjunto de habilidades e competências precisa servir de norteador para que as escolas de engenharia avaliem e definam que tipo de profissionais querem formar.

Para Zarifian (2011), a plasticidade das competências é a condição de readaptação em função das oportunidades e de mudanças de situação profissional: “É neste ponto, provavelmente, que a lógica competência mais se afasta da lógica da ocupação em sua definição tradicional” (ZARIFIAN, 2011, p. 60). As sólidas capacidades para a aprendizagem e a sua força na generalização dos conceitos é que traz um comportamento aberto à inovação. A lógica da competência precisa estar aberta aos eventos externos que são a fonte de valor do futuro.

Uma maneira de avaliar as competências necessárias para o ambiente da Indústria 4.0 é por meio de questionamentos realizados na própria academia. Um estudo promovido na Itália, entre 2015 e 2016, administrado a alunos de graduação (primeiro ou segundo ano de graduação) matriculados nos cursos de bacharelado de Engenharia de Automação, Engenharia Industrial e Engenharia Mecânica, cobrindo um universo de 463 estudantes, indicou que a geração de conhecimento deve ser aprimorada e integrada, considerando inclusive a revisão dos conteúdos pedagógicos das disciplinas, principalmente no que se refere a temas técnicos. Uma possibilidade interessante, que foi resultado dessa pesquisa realizada em três universidades diferentes nas cidades de Brescia, Cassino e Udine, na Itália, é representada pela necessidade de introdução de novidades nos métodos de ensino e aprendizagem, estimulando a sua

digitalização e introduzindo interação inteligente entre os vários atores envolvidos. As conclusões da pesquisa italiana trazem observações em função da consideração de que o principal ativo da estrutura da Indústria 4.0 são as pessoas. Na verdade, a força de trabalho representa um componente crítico da transformação do negócio digital. Ademais, acima de tudo, não devemos esquecer de que, na verdade, cultura e educação são os principais pontos-chaves para alavancar e para promover a conscientização, a difusão e o conhecimento dessas questões (MOTYLA, 2017).

Este estudo analisará os principais indicadores de retorno financeiro da indústria, buscando identificar quais os mais apropriados para a avaliação que postula responder à questão de pesquisa proposta (ASSAF NETO, 2012) (BRIGHAM; HOUSTON, 1999).

Em Moeuf (2020), encontramos a discussão quanto ao impacto da falta de expertise e da mentalidade estratégica tradicional de curto prazo. A pesquisa de Moeuf também indica que a formação é o fator mais importante para o sucesso e que os gestores têm um papel proeminente no sucesso ou no fracasso de um projeto da Indústria 4.0. Por fim, o estudo informa que a Indústria 4.0 oferece uma oportunidade única para redesenhar os processos de produção de pequenas e médias empresas e, assim, adotar novos modelos de negócios.

Esse novo ecossistema promove a migração do conceito de inovação, evoluindo para a cocriação de soluções da Indústria 4.0 e, então, para a concepção de soluções de negócios inteligentes. À medida que a confiança e o compromisso crescem no ambiente atual de desenvolvimento, a estrutura de poder passou da centralidade da associação empresarial para um mecanismo de coordenação neutra de projetos complexos envolvendo a universidade bem como associações empresariais e, por último, para uma estrutura ecossistêmica orientada por plataforma, em que tecnologias-chave surgiram como impulsionadoras de relacionamento entre as empresas e cocriação de valor (BENITEZ; AYALA; FRANK, 2020). Identifica-se também as mudanças de reciprocidade entre os atores, bem como na troca de valor e recompensas esperadas da correspondência e desenvolvimento social. Segundo Benitez, Ayala e Frank (2020), as empresas podem aprender a estabelecer estratégias de desenvolvimento de tecnologia nos ecossistemas da Indústria 4.0, enquanto os formuladores de políticas podem aprender a organizar a evolução desses ecossistemas.

Outro aspecto que devemos considerar é a condição atual de pesquisa exploratória, interdisciplinar e global sobre os temas da Indústria 4.0. Para entender como se propõe a atualização entre pesquisadores em Engenharia Industrial, gestão de operações, pesquisa de operações, controle e ciência de dados, foi elaborado um artigo na 9ª Conferência IFAC MIM

2019, em Berlim, em agosto de 2019 (IVANOV, 2020). O artigo utiliza os achados da pesquisa para construção de estruturas fundamentais e conceituais para se entender o estado atual do conhecimento e se propor futuras oportunidades de pesquisa para os estudiosos da gestão de operações, no ambiente da Indústria 4.0.

Em apenas alguns anos, a Indústria 4.0 fez a transição de um potencial clichê, com um futuro incerto, para um conceito de fabricação sério que é adotado por um número cada vez maior de empresas. No entanto, Hoyer, Gunawan e Reaiche (2020) sugerem que as corporações lutam com o processo de transição e/ou até hesitam em implementar a Indústria 4.0 e seguem examinando os potenciais fatores, processos, pessoas e as competências (ou falta delas) que influenciam a implementação da Indústria 4.0.

3.1 Competências, Indústria 4.0 e a Quarta Revolução Industrial

O que o Uber, o WhatsApp e o Google Music têm em comum? Todas essas soluções são uma resposta da tecnologia às demandas da sociedade na busca por serviços e informações com qualidade, rapidez, eficiência e segurança. Elementos de um fenômeno definido por Harari (2015,) como revolução científica, que se caracteriza por criar tecnologias para materializar uma visão diferente sobre o futuro.

Todo esse desenvolvimento subverte muitos paradigmas de negócio e, em geral, reduz-se muito o tempo para que questões como direitos autorais, regulamentações e tarifas acompanhem seu ritmo. A distribuição de discos, por exemplo, foi substituída pelo modelo *streaming*, de modo que, com frequência, um músico ou uma banda divulga seu álbum, liberando-o para *download* na rede. Da mesma forma, a venda de livros migrou para as livrarias virtuais. A telefonia celular, concebida para dar mobilidade à fixa, após o lançamento do *smartphone*, no início dos anos 2000, abriu espaço para mensagens multimídia, jogos, vídeos, TV, redes sociais e aplicativos com as mais variadas utilidades, transformando-se em um dos principais ícones de customização da atualidade. Assim que o *smartphone* sai da loja, torna-se um equipamento totalmente personalizado, já que cada usuário o configura e o “equipa” com os aplicativos de seu interesse pessoal e/ou profissional (PORTER; HEPPELMANN, 2014).

Os novos modelos de serviços eletrônicos que aproximam a oferta da demanda, por meio de aplicativos, têm causado mudanças profundas no modo como os prestadores de serviço se relacionam com os seus clientes. Adicionalmente, têm abalado serviços mais tradicionais, estabelecidos há muito tempo, e dado lugar a uma discussão sobre sua regulamentação em todo

o mundo. O que esses novos serviços eletrônicos possuem em comum é que eles fazem parte do ambiente de negócio **empresa para cliente** ou **B2C** (*Business to Consumer*). Entretanto, também no ambiente de negócio **empresa para empresa** ou **B2B** (*Business to Business*), há impactos semelhantes ou ainda mais dramáticos, protagonizados pela constante busca de produtividade, de flexibilidade e da utilização eficiente dos recursos.

Em 2011, quando a visão sobre como poderia ser a Indústria do século XXI (Indústria 4.0) foi apresentada pela primeira vez, pelos membros da Academia de Ciência e Engenharia Alemã (ACATECH), na feira de Hannover, na Alemanha, um dos pontos mais ambiciosos da proposta era uma inversão no modelo de negócios conhecido como B2C para um novo modelo, o modelo **cliente para empresa** ou *Consumer to Business* (**C2B**) (PFEIFFER, 2017). Tocouse, assim, em um dos grandes paradigmas da indústria, que é tornar o cliente o centro do processo de forma economicamente viável.

No modelo B2C, os produtos e serviços são definidos pela indústria e lançados no mercado. O cliente conta com um grau de liberdade de escolha restrito para definir a sua versão do produto, com base em ofertas limitadas de customização. No modelo de C2B, o cliente teria condições de definir o produto desejado, para que este seja fabricado de forma personalizada (KOREN, 2010). O alto grau de flexibilidade desse modelo de negócio resultaria teoricamente em tamanho do lote igual a uma unidade. Sua viabilidade econômica seria então assegurada por uma combinação do uso das diferentes tecnologias que apresentam um desenvolvimento exponencial.

Recebido inicialmente com desconfiança (PFEIFFER, 2017), o conceito de Indústria 4.0 é entendido atualmente como um processo irreversível. Hoje, fora da Alemanha, onde essa visão foi gestada, existem diversas iniciativas com nomes diferentes, mas que, em essência, possuem em suas estruturas boa parte das características observadas na proposta alemã. Nos Estados Unidos, o *Advanced Manufacturing National Program Office* é responsável por fomentar o conceito de *Smart Manufacturing*, ou manufatura inteligente. Na China, o governo lançou em 2015 o programa *Made in China 2025*. Em ambos os casos, observam-se variados graus de similaridade com o conceito alemão de Indústria 4.0. No relatório de *benchmark*, fase 1, do estudo do BNDES “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil”, é possível encontrar uma análise profunda das múltiplas iniciativas nesse sentido em curso no mundo (BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO, 2017).

Na visão de Indústria 4.0 defendida na Alemanha pelo governo, academia, empresas e entidades de classe, o principal elemento da transformação são os objetos e ambientes

ciberfísicos. Os objetos e ambientes ciberfísicos representam a completa fusão do mundo físico com o digital, viabilizada pelas tecnologias exponenciais. Essa proposta para a Indústria do século XXI foi capturada e reformulada pelo professor Klaus Schwab, tendo sido apresentada como tema principal do *World Economic Forum* em Davos-Kloster, Suíça, entre 20 e 23 de janeiro de 2016 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016). De acordo com Schwab (2016), a Indústria 4.0 – assim como a Cidade 4.0, o Hospital 4.0, a Logística 4.0 etc. – está contida em uma transformação maior denominada Quarta Revolução Industrial, que foi discutida no início deste trabalho e na qual não ocorre o fim apenas dos limites entre o físico, que são as coisas, e o digital, mas também o fim dos limites entre o físico, o digital e o biológico, que somos nós (SCHWAB, 2016).

O potencial da Indústria 4.0 está também no fato de ela viabilizar novas formas de criação e agregação de valor, bem como de originar muitas vezes modelos de negócios inovadores. Sua proposta intrínseca também é bastante ambiciosa, pois se endereça aos desafios com os quais o mundo se depara atualmente, como o uso eficiente de recursos e de energia, a criação de centros de produção urbanos, próximos aos polos de consumo, e se propõe a solucioná-los.

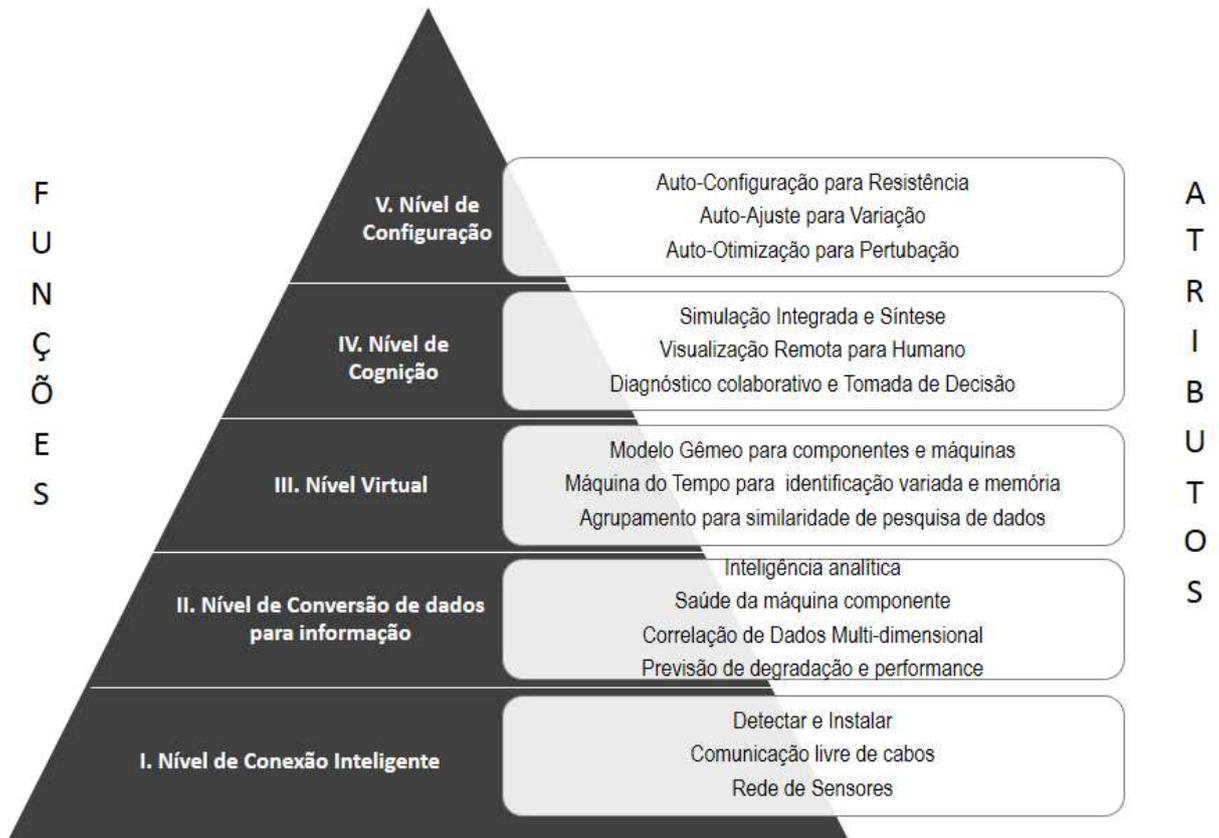
3.1.1 Indústria 4.0 e os objetos e ambientes ciberfísicos

Os objetos e ambientes ciberfísicos que fundamentam a Indústria 4.0 obedecem a uma hierarquia de sofisticação funcional e complexidade técnica (LEE; BAGHERI; KAO, 2015). A partir do segundo nível dessa hierarquia, representada por uma pirâmide na Figura 4, os objetos ou ambientes ciberfísicos conseguem se conectar e se comunicar sem a necessidade de cabos. No terceiro nível da pirâmide, os objetos ou ambientes podem ser representados por modelos computacionais, os chamados gêmeos digitais, que apresentam comportamentos, em termos de tempo, consumo, produtividade etc., idênticos aos observados no mundo físico. No quarto nível da pirâmide é possível, por meio de Inteligência Artificial (IA), inferir comportamentos futuros dos objetos e ambientes ciberfísicos, de forma a suportar a tomada de decisões por parte dos gestores do arranjo produtivo. No último nível é possível tanto prescrever ações para se alcançar os objetivos planejados – ações a serem aprovadas pelos gestores – quanto fazer o autoajuste dos objetos e ambientes.

No que diz respeito ao quinto nível da pirâmide, supõe-se que os componentes desses sistemas ciberfísicos serão capazes de trocar informações autonomamente, tomando decisões e

controlando-se mutuamente e de forma independente. Isso provocaria uma melhora significativa dos processos industriais, da engenharia, do uso de material, da cadeia de suprimentos e da gestão do ciclo de vida do produto, ou seja, da cadeia produtiva como um todo, materializando a inversão de processo de negócio B2C para C2B, contida na proposta de Indústria 4.0.

Figura 4 – Arquitetura de cinco níveis proposta para implementação de um Sistema Ciberfísico



Fonte: LEE; BAGHERI; KAO (2015).

Atualmente é possível observar isso em empresas que iniciaram a jornada de transformação para aderirem ao conceito de Indústria 4.0. Nelas já existe um certo grau de capacidade de reorganização dinâmica do fluxo de produção. Essa reorganização regularmente é viabilizada pelo uso de sensores e chips RFID (*Radio Frequency Identification*), através dos quais os produtos “dizem” às máquinas como devem ser produzidos. Estas, após “lerem” as especificações do produto, “conversam” entre si para produzi-lo em sintonia. Entre os exemplos de empresas mais avançadas nessa transformação está a fábrica da Siemens, em Amberg, na Alemanha (O ADMIRÁVEL, 2017).

Outra parte do processo operacional, em que a utilização de objetos e ambientes

ciberfísicos já pode ser observada, em diversas empresas, é no *design* e na prototipagem dos produtos e de seus meios de produção. Isso tem contribuído para a eliminação da necessidade de construção de protótipos reais assim como tem acelerado o desenvolvimento do produto e da linha de produção. Em um projeto desenvolvido e testado virtualmente, o ciclo completo entre a concepção da ideia de um produto e a sua chegada ao cliente final é muito menor. Devido a essa redução temporal, o lançamento de um automóvel já foi abreviado de oito para três anos (BRITO et al, 2018).

Observa-se que a proposta de inovação da Indústria 4.0 não deve ser entendida como um processo para adição de tecnologias de ponta nas empresas, mas sim como uma proposta de revisitar os processos de negócio em busca de oportunidades para geração de valor, viabilizadas pela tecnologia. Trata-se de uma verdadeira mudança cultural, que exige uma visão holística. Uma vez implementada a Indústria 4.0, a tomada de decisão por parte dos gestores de negócios e processos deixará de ser empírica (como presenciado atualmente em grande parte) para ser apoiada em uma enorme quantidade de dados gerados ao longo de toda a cadeia de valor (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

3.1.2 Eixos de integração da Indústria 4.0

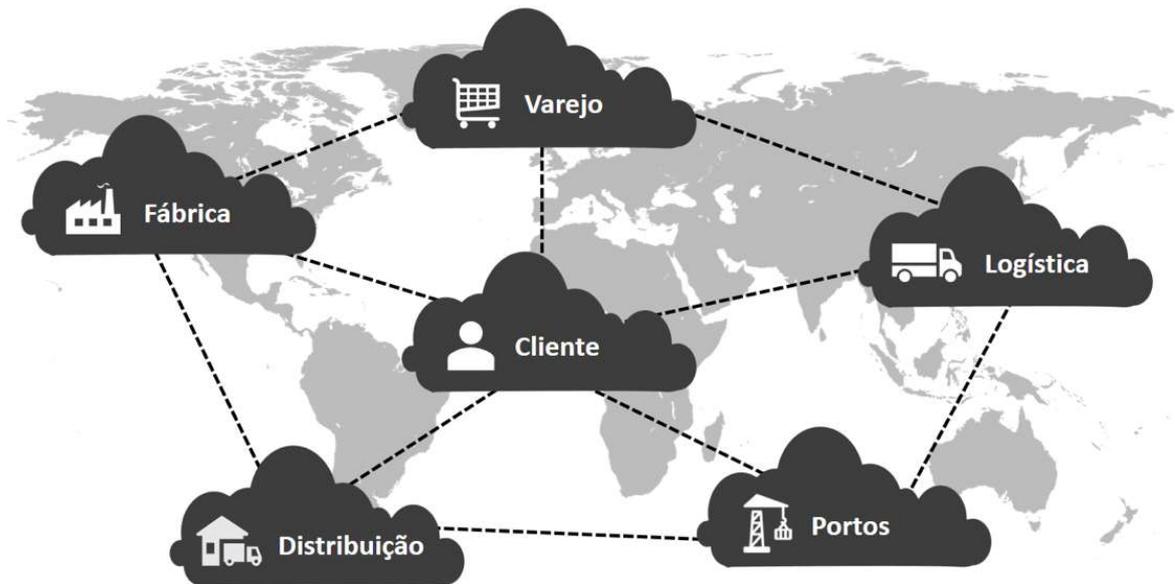
A Indústria 4.0 traz consigo um grande potencial. Fábricas inteligentes (*Smart Factories*), integradas com a engenharia de processos, são capazes de atender às mudanças na produção feitas de última hora, além de proporcionar a habilidade de responder de forma flexível e ágil às discontinuidades e possíveis falhas causadas por fornecedores, por exemplo (WANG et al., 2016).

Para responder com a agilidade idealizada na Indústria 4.0, os sistemas de manufatura são integrados verticalmente com os processos de negócios de fábricas e de empresas e horizontalmente conectados às inúmeras cadeias de valor dispersas que passam a ser gerenciadas em tempo real – desde o momento em que o pedido é colocado até a logística de despacho e entrega. Adicionalmente, esses sistemas viabilizam e requerem uma engenharia “ponta-a-ponta” (*end-to-end*), ao longo de toda a cadeia de valor (BRITO et al, 2018).

A integração horizontal (Figura 5) abrange o uso dos recursos contidos nos arranjos produtivos de toda a cadeia de suprimentos para suportar novos valores na cadeia e novos modelos de negócios entre as empresas envolvidas. A integração horizontal entre todos os elos da cadeia de suprimentos forma um modelo de negócio cooperativo entre as corporações

envolvidas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

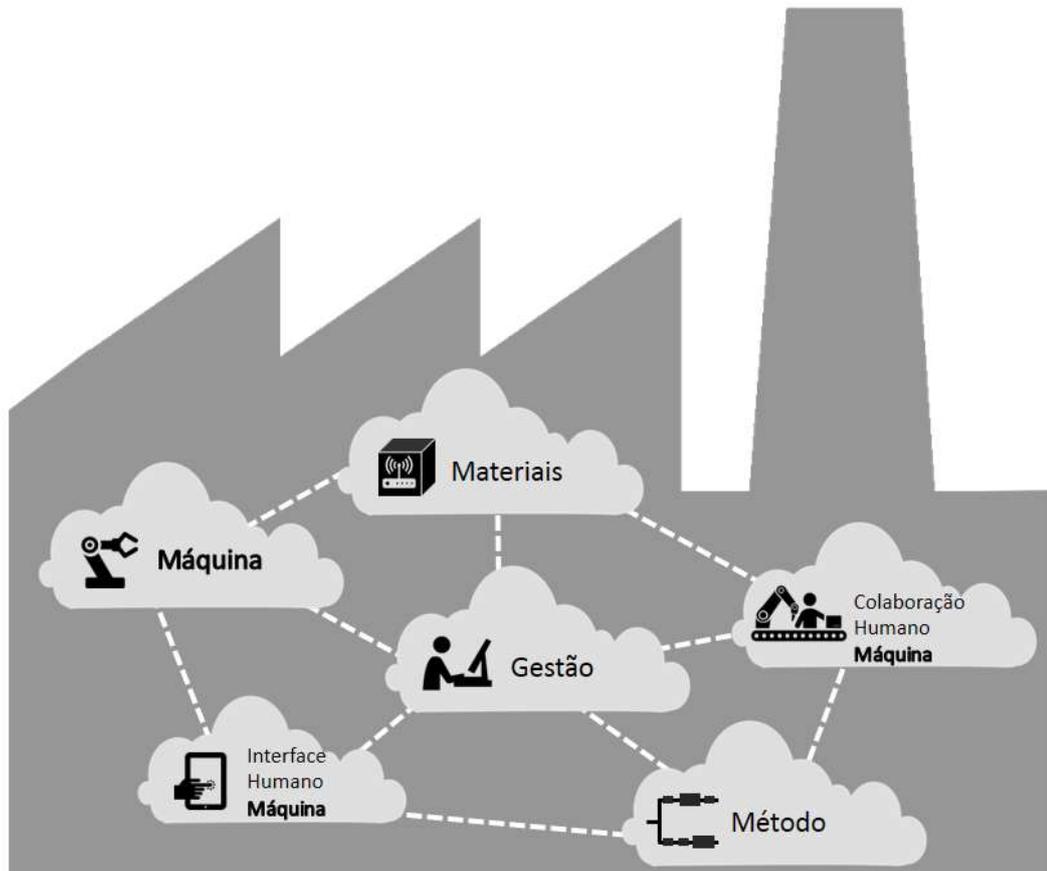
Figura 5 – Integração horizontal através da cadeia de valor



Fonte: adaptado de KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG (2013, p. 31).

A integração vertical (Figura 6) da rede dos sistemas de manufatura abrange desde os sensores de equipamentos do chão de fábrica, passando pelos controladores lógicos programáveis, robôs, sistemas de gestão visual, até os sistemas de gestão empresarial corporativos. Esse tipo de integração tem por objetivo criar uma malha fechada entre o planejamento e a execução, de forma que as mudanças decididas pelos gestores alcancem imediatamente o chão de fábrica (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

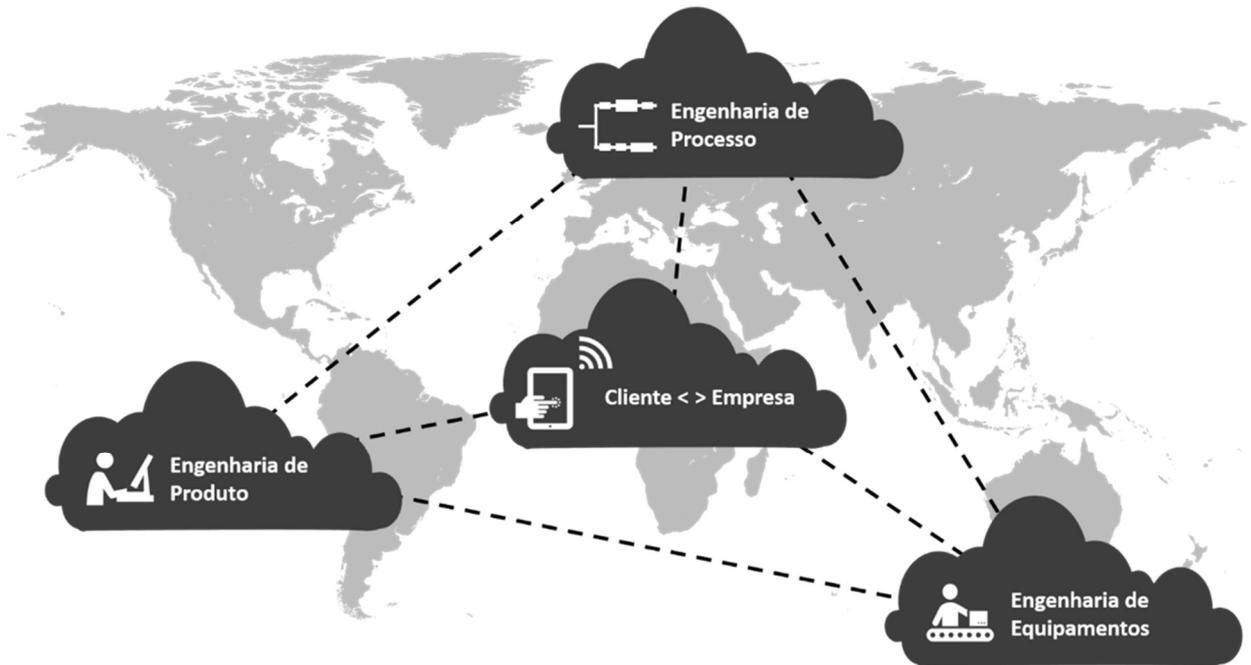
Figura 6 – Integração vertical da rede de sistemas da manufatura



Fonte: adaptado de KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG (2013, p. 32).

A integração de Engenharia Digital de ponta-a-ponta (Figura 7) objetiva que todo o processo de gestão do ciclo de vida do produto, desde o seu desenvolvimento até os serviços de pós-venda ao fim do ciclo, mantenha a conexão entre o mundo digital e real no ciclo de vida e em toda a cadeia de suprimentos (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Figura 7 – Integração engenharia ponta-a-ponta



Fonte: adaptado de KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG (2013, p. 31).

3.1.3 Processo de transformação de uma Indústria Convencional em Indústria 4.0

Em sua participação no SXSW (*South by Southwest*), em 13 de março de 2017, Bill Ford, presidente do conselho da Ford, declarou: “As montadoras precisam mudar e virar fábricas de *software*. Esse é nosso futuro” (MORAES, 2017, n.p.). Assim como as montadoras, empresas de todos os setores estão sendo confrontadas com o desafio de fazer uma transformação digital, cujo conceito será abordado a seguir.

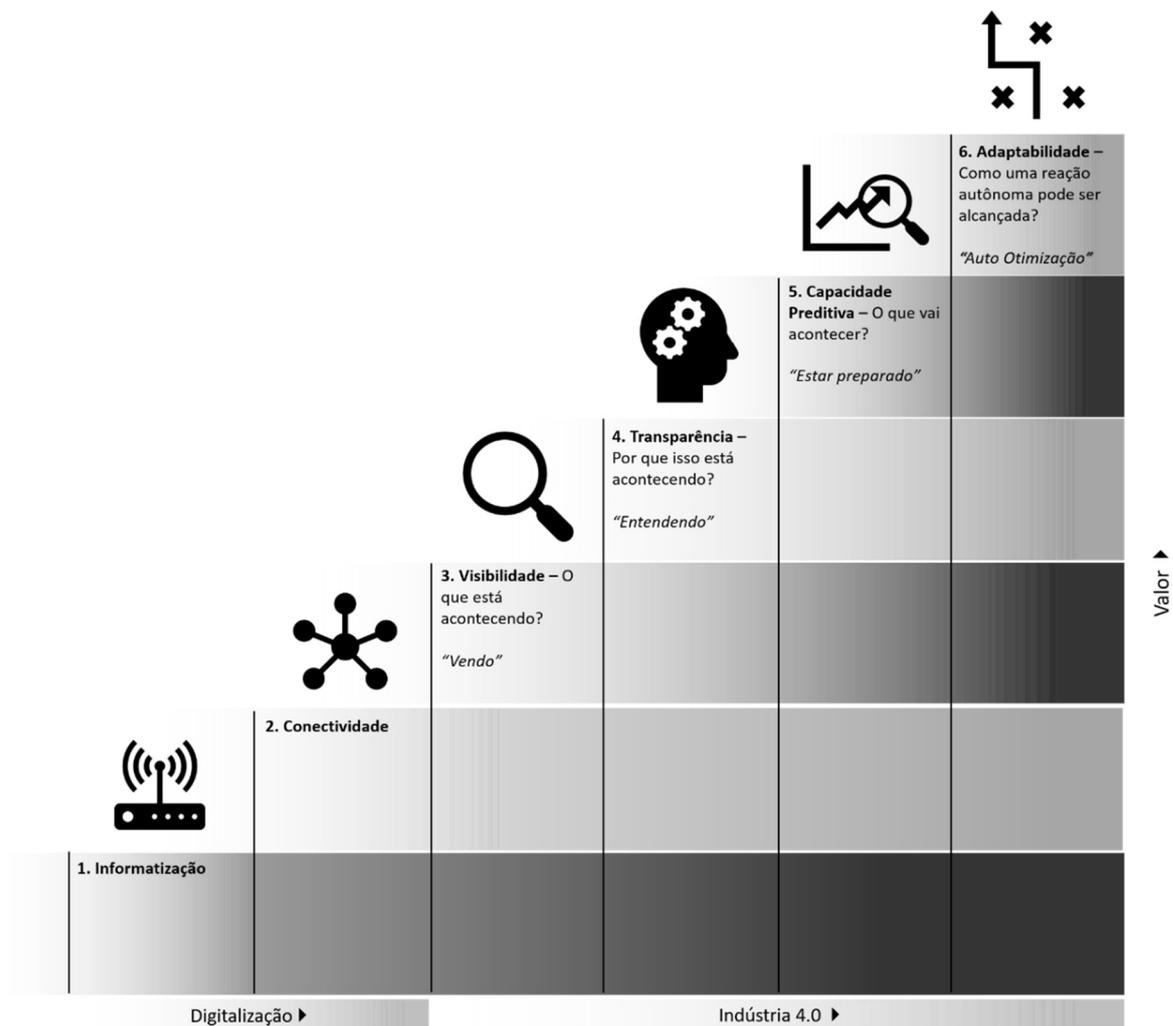
A transformação digital consiste em modificar, por meio da tecnologia, a maneira como a empresa entrega valor para o cliente. Isso significa que uma empresa que se transformou digitalmente terá uma ou mais atividades principais de sua cadeia de valor profundamente alteradas pela tecnologia digital (BERMAN, 2012). É difícil imaginar qual empresa não terá que passar por um processo de transformação digital, o que coloca em discussão não a necessidade da transformação, mas qual a sua velocidade e intensidade.

Observa-se que o caminho a ser seguido na transformação depende do fato gerador que inicia o processo. A lista a seguir apresenta e explica os elementos desencadeadores da transformação:

- a) Produtividade: empresas buscam aumentar a eficiência operacional por meio da tecnologia (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011);
- b) Competitividade: empresas buscam aumentar a competitividade, utilizando a tecnologia para alterar o estado de uma ou mais forças competitivas do ambiente competitivo no qual a empresa está inserida (PORTER, 1979; PORTER; MILLAR, 1985);
- c) Novas oportunidades de negócio: empresas buscam novas formas de gerar valor, viabilizadas pela tecnologia (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2017);
- d) Moonshot: empresas buscam oferecer um novo patamar de bem-estar para a sociedade, possibilitado pela tecnologia (BERMAN, 2012).

Regularmente, o processo de transformação digital é definido pelas empresas de tecnologia como em uma jornada. A Acatech possui um modelo de maturidade para medir o progresso de uma empresa na direção a se tornar uma Indústria 4.0, que sugere as seguintes etapas para a sua adoção: primeiramente a digitalização (utilização de sistemas computacionais e conectividade); em seguida, os passos que caracterizam efetivamente a implantação da Indústria 4.0 e contemplam a visibilidade, a transparência, a capacidade preditiva e a adaptabilidade. A Figura 8 ilustra esses passos:

Figura 8 – Modelo de Maturidade da Indústria 4.0



Fonte: adaptado de SCHUH et al. (2017).

Para orientar a empresa a definir como executar sua jornada, evoluindo em termos de maturidade, a Acatech propôs também uma metodologia para suportar o processo de transformação (SCHUH et al., 2017). De modo semelhante à metodologia da Acatech, que segue o modelo "faça você mesmo", existem outras metodologias para suportar o processo, bem como empresas de consultoria especializadas que ajudam nessa transformação. Evidentemente, para as empresas que podem pagar por uma consultoria especializada, o processo de transformação se torna mais confortável. Para aquelas que não podem e não possuem corpo técnico com capacitação suficiente para conduzir a transformação, seguindo uma metodologia do tipo "faça você mesmo", o caminho está na busca por programas de parceria com a academia e com Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) para a criação de um plano customizado, bem como para a implantação de um sistema de governança que assegure

a implantação do plano.

3.1.4 Desafios para a adoção da Indústria 4.0 no Brasil

Considerando a importância da Indústria 4.0 para a competitividade e a continuidade da indústria brasileira como parte das cadeias de valor, é necessário desenvolver processos que possam maximizar a transformação digital, especialmente nas Pequenas e Médias Empresas (PMEs) do Brasil. É possível que, à medida que a Indústria 4.0 se dissemine, seja difícil para as PMEs terem acesso ao suporte necessário, dada a quantidade de empresas e o número de especialistas no mercado. Uma forma de a academia e os Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) ajudarem nesse processo é por meio de convênios com associações setoriais de empresas. Entre o nível de planejamento da transformação digital supervisionado, seja por uma empresa de consultoria ou por meio de um convênio com a academia, e o nível “faça você mesmo”, existe um nível intermediário, no qual pode ser organizado, com base teórica, um guia “faça você mesmo”, pré-formatado, pautado nas melhores práticas setoriais. Convênios entre academia e ICTs com associações podem produzir guias “faça você mesmo” pré-formatados, capazes de auxiliar as PMEs pelo menos em seus estágios iniciais de transformação.

Alcançar o nível de maturidade de auto-otimização, proposto no modelo de maturidade da Acatech (SCHUH et al., 2017), não é algo a ser atingido em curto prazo. A jornada necessária para se tornar uma Indústria 4.0 é um processo extremamente complexo. É também um processo único, simplesmente porque ocorre para suportar a estratégia individual de cada empresa, que está vinculada à forma como a organização enxerga as oportunidades e as ameaças do mercado. Tanto o governo quanto a academia e os ICTs devem se esforçar ao máximo para colaborar com o processo e, pelo que se observa, eles têm cumprido esse papel. No entanto, não se deve desconsiderar que, evidentemente, o principal responsável pela transformação são os próprios gestores da empresa.

Nessa jornada tecnológica que as empresas devem seguir, as tecnologias digitais devem ser amplamente exploradas, mas não apenas em ações pontuais para oportunidades de desenvolvimento em pequenas porções. É preciso, também, que sejam empregadas na conectividade das cadeias de valor, ligando o consumidor, que está na ponta da cadeia, aos canais de venda, distribuição, fabricação e P&D (BRITO et al, 2018).

Com a busca contínua por respostas e com cadeias de valor cada vez mais conectadas, o meio corporativo demonstra o quanto as tecnologias digitais já estão inseridas nele. O que

antes poderia ser visto apenas como um suporte mais ágil para análises e respostas mais rápidas, agora substitui a decisão do caminho a ser seguido, podendo deixar postos de trabalho no nível gerencial tão obsoletos quanto os braços mecânicos automatizados das linhas de montagem. Não perceber e deixar de se preparar com velocidade adequada para este novo mundo que se apresenta significa assumir um risco muito alto, para além do que se pode razoavelmente aceitar (BRITO et al, 2018).

3.1.5 Contribuição dos estudos realizados no Fórum Econômico Mundial

Os estudos publicados no Fórum Econômico Mundial (2016) e nossas pesquisas demonstram que será necessário ter especial atenção a algumas competências, já conhecidas:

- a) Capacidade analítica e uso de bases de dados: essa tecnologia já está gerando dados e munindo as lideranças de números que são essenciais para embasar as tomadas de decisão. Faz-se necessário possuir competência para realizar análise e para avaliar todas as informações recebidas, dando apoio para decisões ou decidindo qual o caminho que irá mobilizar os melhores resultados.
- b) Interdisciplinaridade e trabalho em equipe: perceber que o trabalho precisa ser feito a partir da somatória não linear de diferentes especialidades, campos de conhecimento e/ou pesquisa. Mesmo a “carreira”, como a conhecemos, passa a ser não linear e exigir o conhecimento da geração de valor interdisciplinar.
- c) Pensamento sistêmico: essa competência é a base para decisões e estratégias. Preconiza a capacidade de escolher variáveis em um cenário complexo e, acima de tudo, de “enxergar” a dinâmica de influência ou dependência entre essas variáveis e os cenários resultantes.
- d) Busca contínua pela eficiência: a adoção maciça de tecnologia poderá levar a uma queda de custos e despesas, mas também à redução das barreiras competitivas. Um dos pilares mais importantes da sustentabilidade é a capacidade de ser eficiente e eficaz sempre.
- e) Disposição de trabalho cooperativo e baseado em diversidade (de ideias e origens): o trabalho cooperativo acelera as curvas de aprendizado, amplia muito a capacidade analítica e criativa e constrói coesão sem uniformidade de pensamento. É a condição mínima para a convivência com diversidade cultural e intelectual, base para a inovação e flexibilidade.

Um outro estudo – intitulado *The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?* – do Dr. Michael A. Osborne, do Departamento de Engenharia da renomada Universidade de Oxford, em coautoria com o Dr. Carl Benedikt Frey, da Oxford Martin School, estima que 47% dos empregos da economia americana estão em risco de extinção pela automatização nos próximos 20 anos (FREY; OSBORNE, 2013), uma perspectiva não tão otimista, a longo prazo.

Após a divulgação dos resultados dessa pesquisa, o jornal inglês *The Economist* publicou um artigo com uma conclusão alarmante: “nenhum governo está preparado” (TECHNOLOGY, 2014). Recentemente a importância do tema foi novamente reforçada. Um estudo publicado na revista *Nature* sobre a posição dos governos em relação às alterações nas relações de trabalho e nos tipos de empregos que estarão disponíveis, depois que a automação eliminar postos de trabalho em diversas áreas, expõe a desorientação dos responsáveis por tomar decisões (WATERS, 2017). Não existe nenhuma linha clara de ação e, ironicamente, na era da abundância de dados, faltam dados para orientar os governantes em suas políticas. O autor sugere que sejam usados os dados de empregos gerados por empresas como Uber e LinkedIn, que parecem estar muito mais aptas a mostrar uma imagem mais precisa das mudanças no mundo do trabalho hoje (WATERS, 2017).

Em uma visão retrospectiva da criação humana da cultura dos últimos 50.000 anos, pode-se encontrar coisas maravilhosas e desequilíbrios assustadores. A memória de muitos desses eventos ainda é viva e vivenciada e sua sucessão foi sendo criada a partir de seus efeitos. A própria possibilidade da revolução da Indústria 4.0 é uma evolução ditada pela insaciável e talvez ilimitada capacidade de criação e aperfeiçoamento.

No Brasil, há a chance de vivermos em um novo regime de Leis Trabalhistas, que, mesmo tardio, promete agilizar e melhorar a relação individual entre empregado e empregador. Antes presas aos chamados acordos coletivos, algumas classes profissionais, tais como os laureados com nível superior, poderão negociar diretamente com as empresas determinadas flexibilidades nas regras laborais, que o tempo demonstrará tão necessárias para o exercício do emprego no novo ambiente que se forma, após o advento de modelos de trabalho preconizados pela Indústria 4.0.

A Quarta Revolução Industrial pede profissionais com maior destreza social, pessoas mais criativas e com capacidade de tomada de decisão em ambientes de incerteza. O novo trabalhador deve ser propositivo e não reativo; será mister saber lidar com novas ideias, que não terão alicerces ou jurisprudência consolidada. Conforme afirma Rodrigues (2017):

O maior desafio a ser vencido na quarta revolução industrial será a transformação das mentes dos que, tendo responsabilidade nos vários setores que atuam na educação brasileira, deverão perceber que o mundo mudou e que terão um papel de suma importância, para atender às novas realidades das instituições. (RODRIGUES, 2017, n.p.).

O Brasil aprendeu a ter estabilidade econômica, começou a acreditar em justiça para todos, soube fazer voz quando inconformado e está se esforçando para retornar aos trilhos e atrair novos investimentos. É momento de ter ambição de aprender a resolver problemas, de desejar crescer por meio do conhecimento profundo das tecnologias disponíveis e da elaboração de soluções em aplicabilidade, desenvolvidas no país, sem a necessidade de manter um discurso nacionalista sobre a origem da plataforma a ser usada.

Falta ainda um passo a concretizar, o uso real da capacidade de utilizar o desenvolvimento tecnológico e a sua aplicabilidade na sociedade. Desenvolvimento é a palavra-chave, pois mesmo tecnologias já dominadas e estabelecidas devem ser parte do contexto. É necessário ser capaz de conhecer e reconhecer as melhores práticas já disponíveis no universo do conhecimento humano e trazê-las de modo adaptado para a sociedade. Os profissionais do Brasil precisam ampliar e estender os conhecimentos básicos adquiridos na graduação, de modo a poder influenciar as decisões que definem o caminho para o futuro. Encontrar soluções é o conceito-chave (BRITO et al, 2018).

3.1.6 Como o Brasil pode se preparar para a economia do futuro

Segundo especialistas ouvidos pela BBC Brasil, o país se saiu bem na redução de desigualdade social na última década, mas precisa investir mais em educação e inovação para obter ganhos em produtividade e geração de empregos nesta nova economia. “O grande desafio à frente é manter os avanços sociais e estimular o aumento da produtividade” (WENTZEL, 2016, p. 45), afirmou Alicia Bárcena, secretária-executiva da Cepal (Comissão Econômica para América Latina e Caribe), órgão ligado à ONU. Ainda assim, o Brasil permanece abaixo da média dos países ricos, conforme retrata o Pisa, *ranking* internacional que avalia a qualificação de estudantes do mundo todo. No levantamento de 2012, foi observado que quase metade dos alunos não apresenta competências básicas de leitura. Além disso, outra análise da mesma organização, mas de 2015, estimou que os estudantes brasileiros são muito fracos na capacidade de navegar em *sites* e compreender leituras na internet, ficando à frente apenas dos estudantes da Colômbia e dos Emirados Árabes em um *ranking* com 31 países (WENTZEL, 2016).

Ainda assim, é necessário que os alunos aprendam a cultivar as habilidades, capacidades

e atributos do século XXI. O treinamento para as habilidades mais importantes nos trabalhos do futuro funcionará bem em ambientes de grande escala em 2026, quando se espera que a educação já esteja evoluindo suficientemente rápido para ser capaz de responder às demandas. No entanto, muitos acreditam que as habilidades mais vitais não são fáceis de ensinar, aprender ou avaliar em qualquer configuração de educação ou treinamento disponível hoje, por isso a maior parte do foco em todo o mundo será na educação infantil (BRITO et al, 2018).

Claramente, para que se possa usufruir desta nova realidade de modo profícuo, deve-se ter pessoal inteligente, mão de obra educada e disponível. O profissional requerido é aquele capaz de resolver problemas inéditos. Aprender, em modo contínuo, e assim saber aplicar as soluções que surgem constantemente será uma habilidade valiosa. Antes de se aventurar em criar novos organismos tecnológicos, deve-se ser capaz de aplicar os já disponíveis. O Brasil, por ter uma numerosa população concentrada em grandes cidades, traz ainda um ambiente propenso ao desenvolvimento do trabalho compartilhado e da troca de ideias. O tecido social que se desenvolve em grandes polos urbanos é um elemento natural que proporciona a interação entre as pessoas, centros de concentração de infraestrutura, como o Santo Antônio Valley de Belo Horizonte ou a Ilha Digital em Recife, funcionam como aceleradores do processo de inovação (BRITO et al, 2018).

No entanto, nada do que foi analisado até agora neste texto será completo e explorado em sua total plenitude sem a conquista de resultados práticos, reais e alinhados com a necessidade da sociedade brasileira. A Quarta Revolução Industrial é uma realidade, não um ideal futurista. A realidade atual pode ao mesmo tempo apresentar-se como uma oportunidade gigante ou trazer o risco de deixar o Brasil, e sua indústria, à margem do desenvolvimento mundial, e, na alternativa de cenário negativo, a disponibilidade de empregos de valor agregado desaparece.

3.1.7 A educação na quarta revolução industrial: considerações preliminares

Sobre essa época de mudanças tão acentuadas em todo o tecido social, Kuhn (2006) diria que estamos em um contexto de consciência da anomalia, momento de reconhecimento de que o paradigma vigente não mais representa ou explica a própria realidade. É como se esse momento antecederesse uma crise para o assentamento de uma nova forma de se ver/fazer as coisas. Claro que aqui não se pretende debater os fundamentos da questão paradigmática, mas

pontuar que, mediante o cenário de tanta transformação, não se pode presumir que a educação deva permanecer apoiada em premissas e modelos anteriores.

Em que pese o caráter cumulativo que a ciência apresenta, por vezes, conceitos são eliminados e substituídos por novos. Não se trata exatamente de substituí-los por novas descobertas, mas por alterações mais radicais, que modificariam o paradigma científico em sua essência. Seria a transformação profunda de teorias e a emergência de novas vertentes de estudo, logo, de um novo paradigma (KUHN, 2006).

Seria, então, plausível admitir que, se tudo muda apesar do modelo vigente de educação, a própria educação vai se transformar para que possa fazer frente às mudanças, em uma relação bilateral e multilateral, na qual cada parte fomenta a alteração da outra? Obviamente essa premissa pode ser refutada e, para tanto, recorreremos a Popper (1999), para quem o ideal de uma objetividade crítica não resulta de tentativas individuais, mas do relacionamento cooperativo e, por vezes, competitivo entre cientistas, e requer uma isenção de valores. Para ele o princípio de que o conhecimento é, em essência, uma expectativa por confirmação – que se constrói a partir de erros e acertos (o que lhe dá um caráter conjectural, já que as observações dos fatos teóricos tenderiam a não apresentar o mesmo resultado, dependendo das circunstâncias) – de que toda descoberta encerra um acento de intuição e de que nenhuma teoria poderia ser provada por indução; assim, chega-se à conclusão de que as observações só podem provar a inverdade de uma teoria, ou seja, falseá-la ou então refutá-la.

Assim, apenas a título de ensaio, várias conjecturas e premissas podem ser elaboradas na tentativa de se definir o que será a educação do futuro, em especial no Brasil. Para tanto, como forma preliminar de embasar esta análise, propomos o modelo da Figura 9, que representa as múltiplas camadas de dimensões de análises que consideramos em nossas reflexões. Na camada mais externa do modelo está a sociedade, e na mais interna está o indivíduo que está sendo educado.

Figura 9 – Camadas de discussão da Educação 4.0



Fonte: elaborada pelo autor.

3.1.8 Sociedade

Como ponto de partida para a reflexão sobre a Educação 4.0 no Brasil, podemos nos apoiar no relatório da UNESCO (2017) sobre a educação. O relatório GEM (*Global Education Monitoring Report*), que acompanhou ao longo de 12 anos o processo de consolidação de metas de educação em múltiplos critérios, apresenta que, no Brasil, apesar de existirem investimentos em educação da ordem de 6,6% do PIB, compatíveis em volume com as recomendações mundiais que estabelecem o piso entre 4 e 6% do PIB, o país continua a falhar na melhora da qualidade dos docentes e na priorização do ensino profissionalizante. O relatório defende a necessidade de acesso, qualidade e equidade na perspectiva de aprendizagem ao longo da vida para todos. A visão da educação para a UNESCO abrange a sustentabilidade, a cidadania global, a educação inclusiva e a educação em saúde.

A competitividade entre as empresas fornecedoras de tecnologia será cada vez mais acirrada. Como mencionado anteriormente, haverá necessidade de constante revisão dos modelos de negócios nas empresas: “modelos de negócios sendo alterados, ‘pivotados’, no curtíssimo prazo, à medida que produtos são testados e se descobrem novas preferências dos consumidores” (BROWN, 2015, n.p.). A inovação parte apenas do indivíduo e continuará sendo uma alta demanda da sociedade e da economia.

A redução dos empregos ocasionada pela substituição de trabalhadores por máquinas dá

espaço para a migração ao empreendedorismo. Segundo o relatório da Startup Genome (2017), a geração de empregos das *startups* se mantém elevada e constante, independentemente de crises, em comparação com os empregos gerados pelas corporações tradicionais. A educação do futuro terá um foco especial no empreendedorismo e na inovação, assim como na formação do indivíduo para o pensar e criar com repertórios diversificados, apoiados em visões técnicas, científicas e filosóficas para a formação criativa e integral do ser humano.

Conforme já mencionado anteriormente, haverá uma divisão dentro do empreendedorismo: pessoas que criam os modelos de negócios disruptivos e aquelas que aproveitam as tendências já estabelecidas e usufruem dos novos modelos. O Vale do Silício foi o berço do Uber. Pessoas com visão inovadora e empreendedora tiveram condição de criar algo novo e empreender. Outras pessoas no Brasil e no mundo que sofrem com a crise trabalham no Uber. Pode-se chamar essa atividade de empreendedorismo ou de um novo modelo de emprego? Outro exemplo disso é o Airbnb, concebido por mentes criativas e inovadoras e que conseguiram estimular a grande massa a tornar suas residências pequenos hotéis: uma forma de empreendedorismo massificado, que vem pronto, mas nem por isso desmerece a iniciativa de quem usufrui do modelo criado por outros (BRITO et al, 2018).

A necessidade de educação para o empreendedorismo e inovação será cada vez mais um requisito nas instituições de ensino. A formação do indivíduo criativo e com características empreendedoras juntamente com a prática, favorecendo a participação do aluno em ecossistemas de inovação, será uma experiência necessária no currículo do novo profissional.

Considerando o cenário corrente, é inquietante pensar no período de transição que se apresenta, no qual permanece a coexistência de realidades diferentes, cada qual com sua lógica. Nessa fase de transição, persistem os desafios para o país, em termos de oferta de educação de qualidade, ao mesmo tempo em que se desenvolve uma nova Sociedade 4.0, cujas demandas de educação ainda não são claramente compreendidas. Essas camadas sobrepostas de desenvolvimento apresentam o primeiro desafio à nossa sociedade, que é o desafio de como construir um sistema de educação capaz de assegurar um desempenho satisfatório em um cenário onde coexistem duas visões distintas sobre as necessidades sociais (BRITO et al, 2018).

3.1.9 Formação do conhecimento

Este novo contexto, de Sociedade 4.0, provê um arcabouço de campos do conhecimento ampliado e mediado pela velocidade com que as informações circulam, aumentando a

relevância do conhecimento nessa sociedade que o delinea. Um aspecto a considerar é que o remoto questionamento sobre a validade do conhecimento prático *versus* o conhecimento científico perde terreno, principalmente em virtude da rapidez da velocidade das mudanças. São muitas frentes sendo alteradas simultaneamente e o isolamento, tanto de um quanto de outro conhecimento, torna-se incompatível para a necessária elaboração e assimilação da mudança. A ciência se encaminha para que seja cada vez mais aplicada, relacionada às necessidades de mercado. Já o professor será cada vez menos apenas acadêmico, pois precisa mudar o modelo mental para conseguir realizar a ponte entre o conhecimento científico e a prática do mercado e mostrar a aplicação do saber na vida. Nesse caso, a formação assume papel fundamental, seja ela prática ou teórico-científica, pois ambas serão legítimas e uma dará apoio aos desenvolvimentos da outra (BRITO et al, 2018).

Nesse sentido, pode-se observar que um tripé deve ser estabelecido para que se fale em educação: ele se constitui dos aspectos técnico, comportamental e motivacional. Isso porque não se trata apenas do conhecimento instrumental, mas, como apregoou Delors (2000), a educação é um processo para toda a vida e deve estar assentada em quatro pilares: aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser, sendo estas, talvez, as indicações mais precisas sobre os rumos que a educação deve tomar, bastando, em função de época e das circunstâncias, que se definam as melhores estratégias para se alcançar essa educação.

Atualmente, muita informação está disponível na internet. Se antes eram informações esparsas e desconectadas, hoje amplas bases de conhecimentos são disponibilizadas, não só de forma autônoma por indivíduos, mas por empresas e instituições educacionais. A questão que se coloca é: se vivemos em um momento em que as pessoas procuram ter independência em suas escolhas, como manter cerceadas as possibilidades da obtenção do conhecimento em grades curriculares que nem sempre expressam o que acontece no mundo dada a lentidão de sua renovação?

Se imaginarmos o conhecimento como o assentamento de uma parede de tijolos, ficará concreta a ideia de que a aprendizagem significativa, como define Ausubel (2000), dependerá da base criada, o que nos faz entender que aquilo que não foi apreendido no momento certo da aprendizagem dificilmente será suprido por conhecimentos reparatórios da deficiência cognitiva pré-existente. O valor que se dá ao conteúdo recebido está intimamente ligado à capacidade individual de relacionar o que se recebe com o conteúdo e bagagem de vida adquirida previamente. A falta de repertório faz com que o novo aluno não consiga valorizar e

significar o que recebe da mesma forma como pessoas que tenham mais valores prévios e mais experiência de vida (PECOTCHE, 2007).

Nesse sentido, a priorização do fornecimento do conhecimento de aplicação imediata levará possivelmente à criação de fissuras na formação do indivíduo. Não há como avaliar a gravidade dessas fissuras *ex ante*. Precisamos ser apresentados às novas gerações, que estão sendo educadas nesta nova realidade de Sociedade 4.0, para sabermos estabelecer de fato um conflito, na Educação 4.0, entre a formação profunda e a de utilidade imediata.

3.1.10 Transmissão do conhecimento

Há muito já se trata do ideal do uso de recursos educacionais, seja presencialmente ou na forma *on-line*. A literatura sobre educação é vasta nesse sentido; contudo, o tempo passa e, aparentemente, o terreno mais seguro ainda é o uso exclusivo dos métodos convencionais, restritivos e, muitas vezes, punitivos, como reflexo de estruturas educacionais gerenciadas de forma arcaica, com pouca sensibilidade para os efeitos de sua ação no futuro das pessoas e apenas focadas no desenvolvimento técnico dos alunos.

Pollock, Jefferson e Wick (2016) abordam, no livro *6D as seis disciplinas que transformam a educação em resultado para o negócio*, a educação corporativa. Vasconcellos (2009), Brom e Aguiar (2011) e Masetto (2010) questionam as práticas atuais e sugerem maior interação da escola com o mundo da experiência e o mundo real. As mídias sociais passam a ser ferramenta de ensino e aprendizagem, mas também uma vitrine que torna transparente quem as pessoas são. Qualman (2011) fala da morte da esquizofrenia social, na qual as pessoas da geração X ou mais velhas sofriam ao ter duas ou mais personalidades: uma para o trabalho e outra para a vida social. Hoje essa divisão está mais tênue, porque tudo está transparente e compartilhado. Sabe-se inclusive quem é o professor, o que ele pensa e é fora da sala de aula.

A velocidade da mente potencializada pela quantidade gigantesca de estímulos exige que estudos aprofundados sejam feitos na hora de se preparar uma aula, um conteúdo e um formato. A monotonia será substituída pelo humor, experiência e *design*. A forma estática migra então para recursos dinâmicos com realidade aumentada, gamificação e novos recursos de interação que ainda serão desenvolvidos. Aplicando o conceito de *design thinking* (BROWN, 2010) na educação, a atenção ao *design* mais apropriado ao aluno fará com que o que se oferece seja aceito mais rapidamente por quem o recebe.

A fixação do conhecimento passa a ser quase tão importante como a transmissão do

conhecimento, pois a concorrência de informações e dados torna necessário o resgate do conhecimento, que deve estar disponível na mente do indivíduo em qualquer oportunidade para uso e aplicação. Relações bilaterais e multilaterais, como já mencionado. O que se propõe é que a transmissão de frações menores de conhecimento para assimilação e fixação, conceito de pílulas de conhecimento, pode ser mais eficiente do que horas de sala de aula em que o aluno tem postura passiva.

Uma proposta para tornar o aluno mais ativo e engajado no processo de aprendizado, visando a reforçar a fixação, é o uso do *game* (SILVA; TRISKA, 2012; NAKAMURA; CAMARA, 2013) com a exploração de Modelo MDA (HUNICKE; LEBLANC; ZUBEK, 2004), com o uso de mecânica (as regras), dinâmica (formas de interações) e estética (busca de respostas emocionais). Por outro lado, a gamificação, diferentemente do *game* puro, é mais fácil de ser adaptada a qualquer conteúdo e promove engajamento por seu caráter lúdico, contribuindo nos aspectos comportamental e atitudinal. Além disso, promove a experiência e contribui para aumentar o tempo de concentração. A gamificação pode ser encontrada na barra de percentual de preenchimento do perfil do LinkedIn ou no reconhecimento do anfitrião na categoria “*superhost*” do Airbnb. Essa forma de aplicar prêmios, desafios e reconhecimento insere a visão de jogo em contextos que não precisam de avatares e aventuras.

Independente da tecnologia, uma das soluções propostas para motivar o aluno dentro ou fora da sala de aula é a de criar pontos de referência a partir dos quais o aluno irá criar uma relação pessoal com o conhecimento. O conteúdo apresentado pelo professor e/ou os recursos na Educação a Distância (EAD) – como os objetos de aprendizagem, recursos digitais ou não, que são reutilizáveis, como videoaulas e tutoriais, por exemplo; ou recursos reutilizáveis na estrutura, mas que apresentam conteúdos criados pelos alunos, como fóruns e *wikis*, apresentados em forma de experiências e histórias – devem fazer o aluno se sentir parte do contexto. Ferramentas de realidade aumentada, simuladores ou realidade virtual podem chegar a promover isso, mas o princípio importante é o do aluno reconhecer-se na construção desse conhecimento. Essa abordagem requer que o professor, ou o elaborador de conteúdo e *design*, tenha experiência ou entenda profundamente a prática e a realidade do que se ensina. Professores teóricos terão mais dificuldade de transformar um conteúdo em produto educacional que vá conseguir se destacar e gerar interesse em quem o recebe (BRITO et al, 2018).

Por outro lado, pessoas cada vez mais imediatistas e superficiais na aquisição do conhecimento desafiam as metodologias e técnicas de ensino-aprendizagem. Educação com uso

de tecnologias 3D, em um contexto no qual muitas pessoas “são 2D”, desafiam a educação do futuro. Sabemos que o uso de tecnologias não soluciona o modelo mental apoiado na dinâmica da superficialidade que torna as pessoas cada vez mais planas. Por outro lado, hoje, o déficit educacional no nosso país é enorme; portanto, cabe questionar o seguinte: caso formemos uma sociedade com formação plana, quais serão as consequências práticas para o nosso desenvolvimento enquanto nação?

3.1.11 Agente responsável pela transmissão do conhecimento

Durante toda a história do desenvolvimento da humanidade, o professor tem mantido um papel central, sendo responsável pela criação, sistematização e transmissão do conhecimento. Nesta Sociedade 4.0, qual é o papel do professor se as pessoas podem navegar livremente pela *web* e todo o conhecimento está lá? A ele caberia o papel de provedor de reflexões? Ou, diante da dissociação de senso comum e ciência, previamente tratada neste texto, caberá ao professor o papel integrador do conhecimento, responsável por fornecer uma visão holística da realidade? O professor que apenas produz ciência tem um viés isolado na produção do conhecimento. As mudanças têm indicado que existe a necessidade de que a produção do conhecimento por pesquisadores seja mais vinculada ao mercado. Se o professor que produz ciência não necessariamente contribui com a geração de conhecimento e se o conhecimento a ser produzido deve priorizar a geração de receita, a capacidade de sistematização do conhecimento tenderá a ser uma característica-chave a ser desenvolvida pelas gerações do futuro? Caberá ao professor ajudar o aluno a desenvolver essa capacidade ou isso será algo a ser conquistado de forma autônoma pelo aluno?

A automação nos processos produtivos, que substitui mão de obra e amplia o desemprego ou a migração entre profissões, intensifica a necessidade da educação para o empreendedorismo e a criação de negócios inovadores. Todavia, a falta de vivência empreendedora dos professores é um obstáculo real para a educação empreendedora nas escolas. É o professor o modelo de inspiração que irá ensinar o aluno a arriscar, criar variações de modelos de negócios e a ser criativo? Como está a formação do professor? O modelo multicanais e as várias plataformas de conhecimento e tecnologias para integração com outros profissionais são suficientes nesse sentido?

A automação e a tecnologia têm restringido a capacidade de pensamento e criação de modelos de negócios novos para o mundo. Não se pode correr o risco de um ensino de

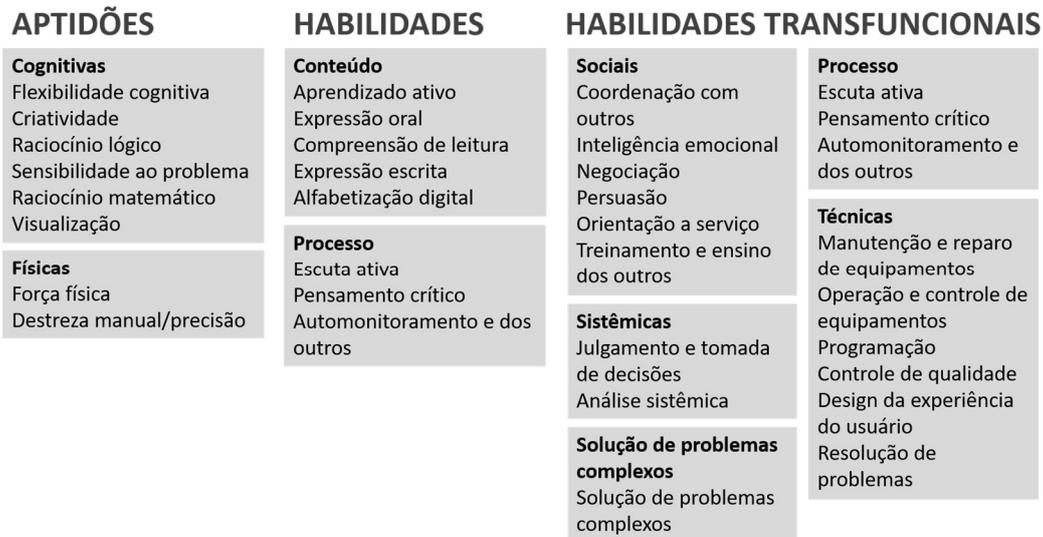
empreendedorismo massificado e que apenas estimule a replicação de empreendimentos criados por outros, modelos pré-formatados, quando o empreendedor não tem estímulo para a criatividade, gerando cada vez mais concentração dessa criatividade nas economias que, efetivamente, investem em inovação. Pelo que se vê, o Brasil ainda carece de incentivos à inovação que contribuam de forma substancial para a elevação da capacidade de criar alternativas nos empreendimentos. Nesse sentido, quanto aos esforços para preparar o professor a desempenhar a função de educador de empreendedorismo, qual grau de efetividade na obtenção de resultados pode ser esperado?

Por tudo já exposto, resta-nos pensar em uma educação exploratória, na qual o professor direciona buscas, promove questionamentos, cria contextos e explora a visão de cenários, fortalecendo o papel de educador que, já há um tempo, é atribuído a ele, embora com uma definição ainda obscura do ponto de vista prático. Contudo, uma nova questão se apresenta: como iremos retrainar e desenvolver os professores para a nova realidade, tendo em vista que as regras que regem todo o nosso sistema de ensino foram formuladas para atender às necessidades de uma sociedade que está próxima do seu eclipse?

3.1.12 Indivíduo

Nesta Sociedade 4.0 que se apresenta, quais são aptidões e habilidades do profissional do futuro? O Fórum Econômico Mundial (2016) as apresenta: flexibilidade cognitiva, sensibilidade ao problema, pensamento crítico, inteligência emocional, alfabetização digital, habilidade para gestão de equipes e *design* da experiência. A Figura 10 mostra mais detalhadamente tais características.

Figura 10 – Habilidades centrais para o trabalho



Fonte: WORLD ECONOMIC FORUM (2016).

David Levy, da Universidade de Washington, apresenta como “cérebro de pipoca” o distúrbio promovido pelo movimento caótico da realização de várias tarefas simultaneamente (LEVY, 2011 apud ROSEN, 2012). Alterações químicas cerebrais são causadas e, por isso, ocorre maior dificuldade na concentração e foco em um único assunto, assim como na adaptação do cérebro ao ritmo lento da vida real. Uma característica importante destacada pelo estudo é o analfabetismo emocional, o qual dificulta a identificação de emoções na fisionomia, postura e comportamento dos outros. A superficialidade ocasionada pelo hábito da busca interminável de informações e das mudanças físicas do cérebro ocasionadas por esse comportamento podem gerar dificuldade na assimilação e na valorização de conteúdos relacionados ao comportamento e motivação humana.

O tempo de concentração do aluno varia ao longo das gerações, em função do condicionamento e treinamento feito desde a primeira infância. Na sala de aula, estudos feitos indicaram que a atenção chega, em média, a 20 minutos (TOKUHAMA-ESPINOSA, 2011). De acordo com a Microsoft, “[...] as transformações são fruto da habilidade do cérebro de se adaptar a novas condições. A queda nos níveis de atenção seria então uma consequência da evolução para a internet móvel.” (TEMPO, 2016). O número de horas que as crianças assistiam TV nas primeiras idades foi correlacionada positivamente aos problemas de atenção aos sete anos. Convém estimularmos o treino da paciência do estudante para que ele se dedique a aprofundar algum conhecimento ou atendermos à “onda” da superficialidade, direcionando-o

para o aprofundamento, quando for de sua vontade?

Como falamos anteriormente, aspectos técnicos, motivacionais e comportamentais devem ser considerados. Competirá aos educadores apresentar saberes práticos e acadêmicos de forma indissociável?

Em relação à motivação, com vistas à mudança de atitude, como fazer? Considerar a necessidade (nota, cumprimento de carga etc.) ou o estímulo para a descoberta? Ou ambos? E como avaliar o aluno diante de tanta amplitude de possibilidades?

A partir dos pressupostos acima, são as seguintes abordagens para provimento da aprendizagem: centrada no estudante, ativa, holística, autêntica, expressiva, reflexiva, social, colaborativa, democrática, cognitiva, desenvolvedora, construtivista, desafiadora e divertida (ZEMELMAN, DANIELS; HYDE, 2005 apud TOKUHAMA-ESPINOSA, 2011).

A variação individual na capacidade de concentração pode requerer mudanças personalizadas na educação. Os recursos tecnológicos e o monitoramento da atenção podem ser feitos de maneira automatizada no caso de EAD e de outras ferramentas digitais.

A utilização de recursos como *games* e realidade virtual já foi comprovada como eficiente, no contexto de idosos, para ativar a memória e exercitar o cérebro.

As monografias já têm se transformado em trabalhos práticos de solução de problemas, e as provas, que geram sensação de fracasso, podem ser substituídas ou complementadas pela gamificação, com atribuição de pontos para reforçar positivamente o acerto do aluno.

É fato que a heurística, a arte de realizar descobertas, que caracteriza esses padrões de navegação, indica que são decisões individuais e, portanto, não se pode esperar uma relação óbvia do usuário com o conteúdo disponível. Diferentes recursos, sejam de conteúdo ou de navegabilidade, devem ser disponibilizados para que o aluno tenha ao seu alcance formas variadas de investigar e explorar o conhecimento.

O conhecimento do aluno do futuro, formatado a partir da metáfora de “cérebro de pipoca”, deverá ser oferecido não apenas em aulas presenciais, mas em dinâmicas, filmes, uso de *smartphones* dentro e fora da sala de aula, gamificação, além da mencionada EAD. Todavia, devem ser oferecidos de forma integrada em multicanais para atender às demandas individuais em termos de forma, ritmo e profundidade do conhecimento (BRITO et al, 2018).

3.1.13 E agora?

Para o Banco Mundial (2011, p. 3), “o crescimento, desenvolvimento e redução da

pobreza dependem dos conhecimentos e qualificações que as pessoas adquirem, não do número de anos que passaram sentados numa sala de aula.”. Dessa forma, e determinadas as metas para 2020, o intuito é atuar nos países em todas as fontes geradoras de conhecimento para que novas abordagens sejam criadas, bem como para que haja a definição de critérios de reforma educacional, para a qual os investimentos devem ser imediatos, feitos com inteligência e para todos.

O Banco Mundial (WORLD BANK, 2017) ainda aponta a existência de desvios consideráveis de todas as partes envolvidas com relação à aprendizagem, o que tem reduzido gravemente os níveis educacionais, principalmente em economias menos desenvolvidas, aspecto que compromete o desenvolvimento dos próprios países. Alerta, assim, para o papel da educação para a promoção do crescimento econômico. Ademais, reforça que não há aprendizagem sem preparar aprendizes motivados, que professores devem ter as competências e a motivação necessárias, ressaltando que há uma certa negligência das instituições quanto a esses aspectos e apontando que interesses contraditórios entre as partes envolvidas – desalinhamentos e incoerências nos objetivos de aprendizagem e responsabilidades, nas informações e métricas, nos aspectos financeiros e de incentivos – estão impedindo a aprendizagem.

Como gerar motivação? A Inteligência Artificial pode aprender mais rapidamente do que o ser humano? O que será feito com o tempo que sobra das funções assumidas pelas máquinas? O que resta para o futuro da educação? Falta o desenvolvimento nos docentes e alunos da parte humana, oferecendo muito mais do que conhecimentos técnicos, mas conhecimentos úteis que servem para a vida, habilidades para melhorar as relações pessoais, valores e princípios éticos. A tecnologia não irá substituir sensações e emoções, pelo menos, no horizonte observado, mas pode ajudar a eliminar a fragmentação dos conteúdos das aulas. Para tanto, são necessários valores internalizados de quem aplica essa docência com espaço para o livre pensar (VASCONCELLOS, 2009). A Educação 4.0 com olhar humano estimula a exploração das riquezas das experiências e pode ajudar a construir as bases das novas gerações, pois, as tecnologias, se bem utilizadas, podem ajudar a perceber as diferenças individuais e oferecer estímulos certos nas horas certas. Além disso, pode contribuir para a saída do modelo de enxurrada de informações, uma vez que computadores conseguem realizar boa parte dessa demanda, para que sobre tempo para a construção de um novo saber humano, profundo, prático e que integre o homem às máquinas, a fim de que se extraia o melhor valor dessa parceria.

Além desses processos e referenciais, é interessante avaliar sistemas que propiciem um correspondente ambiente educacional, a correta utilização de materiais e recursos, de modo a propor um melhor aproveitamento das interações com a indústria, a infraestrutura acadêmica adequadas e as facilidades que podem ser implementadas por seu intermédio.

Afirma Tonini (2011) que, no âmbito da engenharia, “a redefinição de ‘conhecer’ deve estar pautada não somente no saber das técnicas, mas nas interações deste saber com as realidades sociais, culturais, de poder e ambientais da sociedade para então ser capaz de construir um conhecimento teórico, científico e cultural necessário à formação em engenharia” (TONINI, 2011, p. 3). A partir disso, entendemos que a conexão teoria e prática expande o desenvolvimento de competências, a conexão da academia com a indústria deve contribuir para a formação crítica e generalista do engenheiro, o egresso deve ser capaz de organizar seu conhecimento de forma estruturada e com prioridades, sendo ainda generalista ao buscar o conhecimento. O engenheiro necessita conectar a sua visão de realidade, escapando da armadilha do acúmulo de teorias, em um contexto de produção previamente estabelecido, passando a constituir uma matriz explicativa para problemas e enigmas que circundam a realidade da sociedade em que se insere. (TONINI, 2011).

O papel da teoria é, muitas vezes, limitado. Para alguns aspectos do fenômeno educativo, a explicação das relações envolvidas pode não ser suficientemente desenvolvida ou abrangente, e sua incompletude pode, inclusive, servir de guia ou fornecer elementos para reflexão. Não há teoria que, por sua própria natureza, fins e prioridades, seja elaborada e resista às mudanças sociais, filosóficas e psicológicas, pelo menos do ponto de vista do ser humano que a examina, utiliza-a e participa do mundo que a cerca (MIZUKAMI, 1986).

Conforme Plonski (2021), o conhecimento é ensejado pelo estabelecimento de relações de cooperação entre pessoas e organizações, que se reconhecem distintos, mas que percebem o potencial de desenvolvimento existente em uma relação marcada pela reciprocidade. É esta a base para alguns dos arranjos mais frutíferos na sociedade do conhecimento: as comunidades de aprendizagem, as comunidades de praticantes de uma determinada tecnologia, as relações entre os atores dos sistemas nacional e local de inovação tecnológica, tais como a cooperação empresa-universidade-governo, e a cooperação científica, técnica e tecnológica internacional.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada neste estudo foi o estudo de caso múltiplo, com abordagem qualitativa (YIN, 2010) (EISENHARDT, 1989). A escolha desse método leva em consideração que o campo de estudos das necessidades da indústria na Quarta Revolução Industrial é relativamente recente.

O ambiente de pesquisa de campo foi composto por Instituições de Ensino Superior (IES) de Minas Gerais e empresas onde atuam egressos dos cursos de Engenharia das instituições pesquisadas e que já estão se apresentando como interessadas na Quarta Revolução Industrial no Brasil. Os sujeitos participantes desta pesquisa foram os alunos de engenharia em escolas do estado de Minas Gerais. Participaram ainda engenheiros egressos das mesmas instituições, que estavam atuando na indústria.

O procedimento de coleta de dados foi realizado de acordo com cada tipo de fonte de dados. A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de consultas às bases de dados, como Periódicos CAPES, Proquest, Ebsco, IEEEExplore, SCIELO, teses, dissertações, livros e periódicos relacionados ao tema das demandas trazidas pela Quarta Revolução Industrial.

As pesquisas documentais foram obtidas a partir dos dados disponibilizados por organizações, como o ABIMAQ, SAE Brasil, BNDES, *sites* de empresas que produzem e comercializam produtos e soluções para a Indústria 4.0, além da documentação obtida junto às empresas e escolas participantes da pesquisa, diretamente ou por meio de consultas à base de dados na Internet ou de órgãos públicos.

A entrevista semiestruturada foi o instrumento de coleta de dados. Esse tipo de entrevista tem um roteiro prévio para orientar o entrevistador, mas que é flexível, sendo que as respostas são empregadas de forma livre pelo entrevistado durante o processo, conforme afirmam Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (1999, p. 168): “o entrevistador faz perguntas específicas, mas também deixa que o entrevistado responda em seus próprios termos”.

O grupo focal foi formado por 15 engenheiros em formação nas escolas de Minas Gerais, bem como por 15 egressos dos cursos de Engenharia das mesmas instituições. Os participantes foram contatados diretamente pelo pesquisador, o qual utilizou o relacionamento e os contatos que ele possui entre alunos e profissionais de engenharia, obtidos durante sua carreira profissional. Os instrumentos utilizados foram a observação, roteiro para análise de discurso e compilação das respostas diretas.

Portanto, analisaremos os resultados das entrevistas em blocos relacionados aos objetivos de pesquisa. O questionário abrange aspectos da formação, atuação e conceitos da Indústria 4.0, na escola e na empresa; entre os itens constantes no roteiro de entrevistas, definimos três blocos de categorização para análise. Lakatos e Marconi (1993) indicam que a padronização, pelo roteiro, no presente caso, visa a que o conjunto de respostas seja comparado com o mesmo conjunto de perguntas “e que as diferenças devem refletir diferenças entre os respondentes e não diferenças nas perguntas” (LAKATOS, 1993, p. 65).

A primeira categoria se refere ao perfil e à motivação dos alunos de engenharia e dos engenheiros egressos no desenvolvimento dos saberes do mundo da engenharia, mais agudamente no campo da Indústria 4.0. Avaliou-se ainda a postura do aluno na escola e do engenheiro na empresa e qual conhecimento eles imaginam necessário para identificar competências que o apoiarão no seu desempenho. Pretende-se, desse modo, levantar e classificar as boas práticas na educação tecnológica e de extensão universitária para o atendimento das demandas da Quarta Revolução Industrial.

A segunda categoria se refere à exposição dos entrevistados ao universo da Indústria 4.0 e como se realiza o aprendizado desse conteúdo, se é possível identificar o aprendizado por experiência, assim como efeitos do aprendizado por *feedback*. Observou-se ainda como o processo de aquisição do conhecimento conduz ao preparo, à capacidade de antecipação e à proatividade, tanto no ambiente da escola quanto no da empresa.

A terceira categoria se refere às competências identificadas como necessárias à atuação do aluno na escola e do engenheiro no seu dia a dia, de acordo com o seu entendimento e relacionamento com as características da sociedade que surgem pela influência da Quarta Revolução Industrial.

Esta pesquisa envolveu seres humanos, portanto seguiu os aspectos éticos indicados nas diretrizes para pesquisa com seres humanos, determinadas pela Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde.

As entrevistas foram realizadas apenas por via remota, por meio de videoconferências, levando em consideração as medidas de distanciamento social solicitadas, devido à pandemia do Coronavírus – COVID-19. A participação na pesquisa foi de forma voluntária e não incorreu em custos ou retornos financeiros para o participante.

Os participantes que manifestaram o interesse em participar da pesquisa, após esclarecidas todas as suas dúvidas – seja por *e-mail* ou por meio de reunião remota individual – receberam por *e-mail* o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o termo de

autorização para uso de voz, para que fossem lidos e compreendidos. Foi solicitado, nesse e-mail, que caso o possível participante da pesquisa concordasse em participar dela, de forma autônoma, consciente, livre e esclarecida, que preenchesse os campos do TCLE e do termo de autorização para uso de voz, assinasse os documentos e enviasse ao pesquisador. O pesquisador também assinou o TCLE e o termo de autorização para uso de voz e disponibilizou, por *e-mail*, uma via de cada documento assinada pelo participante e pelo pesquisador ao participante da pesquisa. A entrevista foi realizada somente após o processo de obtenção do TCLE. O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do CEFET-MG, via Plataforma Brasil, para aprovação, e as atividades envolvendo seres humanos só foram iniciadas após a aprovação do projeto pelo CEP. Número CAAE: 54362221.1.0000.8507.

A análise e interpretação dos dados foi executada com a categorização, codificação e tabulação dos dados obtidos. A avaliação dos dados coletados foi executada em seguida, juntamente com a avaliação da inferência das relações causais. Por fim, foram potencializados os significados e verificados os temas repetitivos, procurando esgotar a análise e a interpretação dos valores obtidos, permitindo traçar o perfil gerador da lacuna encontrada pelos profissionais em tecnologia, da academia para a indústria e da indústria para a academia.

Para a potencialização de significados, verificou-se os temas repetitivos, objetivando estabelecer relações entre ocorrências e elucidações contingentes. Foram acaudilhados e ressaltados os argumentos e elementos que compartilham o mesmo cenário de características.

A credibilidade deste estudo de caso foi adequada por meio de hipóteses como a verificação da representatividade dos participantes, a qualidade intrínseca dos dados e o policiamento da opinião do próprio pesquisador. Ainda na busca por fortalecer a eficácia desta pesquisa, foram utilizados também técnicas de triangulação entre fontes, avaliação externa além do aproveitamento de *feedback* dos participantes.

4.1 Riscos

Os participantes desta pesquisa podem ter sido expostos a pequenos riscos e desconfortos mínimos, por exemplo um possível cansaço ao longo da entrevista, devido ao número de perguntas e/ou ao fato de a comunicação remota ser mediada por uma tela; vergonha ou constrangimento por estar conversando com o pesquisador, em ambiente de trabalho e estudo; ou outros, relacionados ao ambiente de videoconferência. Existiu ainda o risco mínimo de desconforto por estar sendo gravado em áudio (caso tenha sido autorizada a gravação

previamente), devido à preocupação com uma futura quebra involuntária e não intencional de anonimato ou sigilo, ocasionada por perda ou roubo dos dados coletados. Para mitigar esses riscos e desconfortos, o participante pôde conversar com o pesquisador e solicitar mais esclarecimentos; deixar de responder a qualquer pergunta feita durante a entrevista, sem a necessidade de explicação ou justificativa; desligar a câmera e conversar com o pesquisador somente por voz; pedir para parar a gravação do áudio da entrevista (caso tenha autorizado a gravação previamente); solicitar a exclusão de qualquer informação coletada pelo pesquisador; e, ainda, pedir para interromper a pesquisa e cancelar o seu consentimento, sem prejuízo ou represália alguma, de qualquer natureza. O pesquisador foi o único a ter acesso aos dados coletados, sendo que eles nunca serão registrados pelo nome do participante, sendo utilizada uma codificação, tanto para a identificação dos dados coletados quanto dos participantes. Sempre que possível o pesquisador fez o *download* dos documentos ou dados coletados para um dispositivo eletrônico local, apagando todo e qualquer registro de qualquer plataforma virtual, ambiente compartilhado ou “nuvem”. O pesquisador evitou ao máximo transportar qualquer dispositivo, documento ou anotação que pudesse constar qualquer dado coletado na pesquisa ou dos participantes. Os dados coletados foram utilizados exclusivamente para gerar informações para a pesquisa aqui tratada e outras publicações científicas dela decorrentes, tais como teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, artigos em periódicos, congressos e simpósios ou outros eventos de caráter científico-tecnológico, sendo que a identificação do participante não será revelada em nenhuma das vias de publicação científica das informações geradas pela pesquisa.

4.2 Benefícios

Este estudo analisou os principais indicadores de retorno financeiro da indústria, buscando identificar quais os mais apropriados para a avaliação que postula responder à questão de pesquisa proposta. Os participantes da pesquisa terão como principal benefício o direito de receber uma cópia digital da dissertação, que foi elaborada com os dados coletados e codificados, após sua apresentação e aprovação pela banca de defesa do Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG. Além disso, a participação nesta pesquisa poderá trazer como benefício ao participante a reflexão sobre a sua formação e competências na atuação como aluno ou egresso do curso de Engenharia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho foi suportado por um procedimento metodológico de pesquisa por meio de entrevistas individuais, realizadas *on-line*, pelo aplicativo Teams da Microsoft. O procedimento realizado para análise das informações coletadas foi do tipo qualitativo. Godoy (1995) destaca que a pesquisa qualitativa é aquela que tem como foco “fundamental o estudo e a análise do mundo empírico em seu ambiente natural” (GODOY, 1995, p. 62). Segundo Minayo (1996), pesquisa qualitativa é aquela que não se preocupa em quantificar, mas sim em compreender e explicar a dinâmica das relações sociais que, por sua vez, são depositárias de crenças, valores, atitudes e hábitos. Esse tipo de pesquisa trabalha com a vivência, com a experiência, com a cotidianidade e com a compreensão das estruturas e instituições como resultados da ação humana objetivada (MINAYO, 1996).

Considerando o método escolhido como parte do sucesso e atingimento das metas e objetivos da pesquisa, destaca-se, para além do aspecto qualitativo, o caráter descritivo da pesquisa. Gil (1999) afirma que a pesquisa descritiva tem como objetivo a descrição ou a distinção do fenômeno objeto de estudo, basilar para o estudo que estamos realizando, portanto, a escolha do tipo e modo de abordagem, pelos procedimentos metodológicos adotados, consente o objetivo de se compreender as questões levantadas.

Foram entrevistados um total de 30 indivíduos, sendo 15 engenheiros formados e 15 alunos de cursos de Engenharia, os quais constituem os sujeitos desta dissertação.

A pesquisa teve como objeto as questões relativas à qualificação e à atuação desses indivíduos frente às novas tecnologias vindouras no ambiente da Quarta Revolução Industrial, bem como as competências requeridas para essa atuação.

As questões discutidas com os alunos e com os profissionais do mercado de trabalho, egressos de engenharia, procuraram identificar as relações no ambiente de escola e do trabalho, e o discurso, se presente ou não, dos temas relevantes da Indústria 4.0. Dessa forma, foi elaborado um questionário para a realização das entrevistas semiestruturadas com questões abertas que abrangeram as temáticas a serem pesquisadas. O questionário completo está apresentado no Apêndice A da presente dissertação.

A utilização dessa base de dados se justifica por três fatores principais: a compatibilidade do material disponível com o tema e objetivos da presente dissertação; a variedade de escolas, empresas e sujeitos entrevistados; e a possibilidade de explorar ao máximo os dados obtidos junto aos participantes da pesquisa.

A coleta de dados, segundo Lakatos (1993), é a “etapa da pesquisa em que se inicia a aplicação dos instrumentos elaborados e das técnicas selecionadas, a fim de se efetuar a coleta dos dados previstos” (LAKATOS, 1993, p. 165). A coleta de dados realizada para esta dissertação ocorreu por meio de entrevistas semiestruturadas. De acordo com Triviños (1987), “entrevista semiestruturada, em geral, é aquela que parte de certos questionamentos básicos, apoiados em teorias e hipóteses, que interessam à pesquisa” (TRIVIÑOS, 1987, p. 146).

Os objetivos de pesquisa deste trabalho compreendem identificar boas práticas na educação tecnológica e de extensão universitária, bem como identificar as competências necessárias para o ambiente da Indústria 4.0 e ainda deliberar quanto às competências que o profissional de engenharia necessita adquirir para desenvolver os conceitos da Indústria 4.0.

As entrevistas foram gravadas e transcritas para posterior exame do conteúdo. Segundo Bardin (1977), “a análise de conteúdo aparece como um conjunto de técnicas de análise das comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens” (BARDIN, 1977, p. 38).

Utilizamos a análise de conteúdo para processamento dos dados obtidos nas entrevistas. De acordo com Triviños (1987), a análise de conteúdo pode ser desmembrada em três etapas. A primeira etapa, denominada análise antecipada, consiste na organização do material; neste caso, em específico, consistiu na organização do material oriundo das entrevistas, incluindo nessa etapa a transcrição das gravações das entrevistas realizadas. A etapa subsequente é a descrição analítica, nessa etapa, adotam-se as fórmulas necessárias para codificar, classificar e categorizar o material. No presente estudo, foi realizada a separação e categorização dos dados obtidos nas entrevistas, agrupando-os pelas categorias adotadas no estudo. A última fase, denominada interpretação referencial, consiste na análise efetiva do material obtido, e, a partir dela, realiza-se a reflexão e o cruzamento das informações obtidas em todo o processo investigativo. No presente estudo, essa etapa consistiu na análise dos dados oriundos das entrevistas, sua interpretação e cruzamento com as informações do referencial teórico.

No total, foram analisadas as 30 entrevistas: 15 de alunos graduandos e 15 de engenheiros egressos, todos de escolas de engenharia e de empresas que atuam no estado de Minas Gerais. O Gráfico 1 apresenta a relação dos participantes da pesquisa, sendo que foram codificados os nomes dos entrevistados, de modo a manter o sigilo das informações.

Gráfico 1 – Relação de entrevistados – Alunos

UFMG Aluno 01	UFMG Aluno 02	UFMG Aluno 03	UFMG Aluno 04	CEFET-MG Aluno 05
CEFET-MG Aluno 06	CEFET-MG Aluno 07	CEFET-MG Aluno 08	UFMG Aluno 09	UFMG Aluno 10
UFMG Aluno 11	UFMG Aluno 12	CEFET-MG Aluno 13	UFMG Aluno 14	UFMG Aluno 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 10 alunos de Engenharia da UFMG; 5 alunos de Engenharia do CEFET-MG; Total de 15 alunos de Engenharia de Instituições de Ensino Superior de Minas Gerais.

Gráfico 2 – Relação de entrevistados – Egressos

CEFET-MG Egresso 01	CEFET-MG Egresso 02	CEFET-MG Egresso 03	UFMG Egresso 04	PUC-MG Egresso 05
UFMG Egresso 06	PUC-MG Egresso 07	UFMG Egresso 08	PUC-MG Egresso 09	CEFET-MG Egresso 10
PUC-MG Egresso 11	CEFET - MG Egresso 12	FACIT-MG Egresso 13	PUC-MG Egresso 14	UFMG Egresso 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 4 egressos de Engenharia da UFMG; 5 egressos de Engenharia do CEFET-MG; 5 egressos de Engenharia da PUC-MG; 1 egresso de Engenharia da FACIT-MG; Total de 15 egressos de Engenharia de Instituições de Ensino Superior de Minas Gerais.

Em relação à faixa etária dos sujeitos da pesquisa, procurou-se uma boa distribuição em diferentes faixas etárias para a amostra desta pesquisa. Os Gráfico 3 e 4 apresentam a distribuição etária dos participantes da pesquisa.

Gráfico 3 – Faixa etária dos Alunos engenheiros entrevistados

23 anos Aluno 01	22 anos Aluno 02	21 anos Aluno 03	22 anos Aluno 04	20 anos Aluno 05
21 anos Aluno 06	22 anos Aluno 07	21 anos Aluno 08	23 anos Aluno 09	24 anos Aluno 10
21 anos Aluno 11	22 anos Aluno 12	23 anos Aluno 13	20 anos Aluno 14	22 anos Aluno 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 2 Alunos de 20 anos; 9 Alunos de 21 a 22 anos; 4 Alunos acima de 23 anos.

Gráfico 4 – Faixa etária dos Egressos engenheiros entrevistados

36 anos Egresso 01	43 anos Egresso 02	51 anos Egresso 03	23 anos Egresso 04	30 anos Egresso 05
32 anos Egresso 06	47 anos Egresso 07	24 anos Egresso 08	44 anos Egresso 09	51 anos Egresso 10
31 anos Egresso 11	31 anos Egresso 12	43 anos Egresso 13	24 anos Egresso 14	27 anos Egresso 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 5 Egressos de 24 a 30 anos; 4 Egressos de 31 a 36 anos; 6 Egressos acima de 43 anos.

A formação dos entrevistados se encontra dividida entre as engenharias: Elétrica, Mecânica, Metalurgia, Civil e Produção (Gráficos 5 e 6). Esclarece-se que foram realizadas entrevistas com áreas distintas da engenharia, uma vez que as Diretrizes Curriculares Nacionais estabelecem as condições gerais para os cursos de Engenharia, não havendo diretrizes particulares para um curso ou outro. Dessa forma, as competências propostas devem atender a todos os alunos e egressos e, portanto, a análise foi realizada em um grupo com formações diversas em Engenharia, nas escolas do estado de Minas Gerais.

Gráfico 5 – Formação, por especialidade, dos Alunos engenheiros entrevistados

Mecânica Aluno 01	Mecânica Aluno 02	Controle e Automação Aluno 03	Mecânica Aluno 04	Elétrica Aluno 05
Mecânica Aluno 06	Mecânica Aluno 07	Elétrica Aluno 08	Mecânica Aluno 09	Mecânica Aluno 10
Elétrica Aluno 11	Controle e Automação Aluno 12	Elétrica Aluno 13	Mecânica Aluno 14	Controle e Automação Aluno 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 8 Engenharia Mecânica; 3 Engenharia de Controle e Automação; 4 Engenharia Elétrica.

Gráfico 6 – Formação, por especialidade, dos Egressos engenheiros entrevistados

Controle e Automação Egresso 01	Mecânica Egresso 02	Mecânica Egresso 03	Mecânica Egresso 04	Produção Egresso 05
Elétrica Egresso 06	Mecânica Egresso 07	Controle e Automação Egresso 08	Elétrica Egresso 09	Mecânica Egresso 10
Produção Egresso 11	Elétrica Egresso 12	Controle e Automação Egresso 13	Produção Egresso 14	Elétrica Egresso 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota: 5 Engenharia Mecânica; 3 Engenharia de Controle e Automação; 3 Engenharia de Produção; 4 Engenharia Elétrica.

Gráfico 7 – Gênero dos Alunos engenheiros entrevistados

Feminino Aluno 01	Masculino Aluno 02	Masculino Aluno 03	Masculino Aluno 04	Masculino Aluno 05
Masculino Aluno 06	Masculino Aluno 07	Feminino Aluno 08	Masculino Aluno 09	Masculino Aluno 10
Feminino Aluno 11	Feminino Aluno 12	Masculino Aluno 13	Masculino Aluno 14	Feminino Aluno 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 8 – Gênero dos Egressos engenheiros entrevistados

Masculino Egresso 01	Masculino Egresso 02	Masculino Egresso 03	Masculino Egresso 04	Feminino Egresso 05
Masculino Egresso 06	Masculino Egresso 07	Masculino Egresso 08	Masculino Egresso 09	Masculino Egresso 10
Masculino Egresso 11	Feminino Egresso 12	Masculino Egresso 13	Masculino Egresso 14	Masculino Egresso 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma vez apresentado o grupo objeto desta pesquisa, fechando com a classificação por gênero (Gráficos 7 e 8), segue-se com a discussão com base nas três categorias em que os dados obtidos foram classificados. Os resultados foram categorizados com a finalidade de atender aos três objetivos específicos desta dissertação e serão apresentados a seguir.

5.1 Categorização dos resultados da pesquisa para atendimento ao primeiro objetivo específico

No que diz respeito ao primeiro objetivo específico – *“identificar boas práticas na educação tecnológica e de extensão universitária, contribuindo para a valorização da cultura acadêmica desta área de estudos”* –, procurou-se verificar o perfil e a motivação dos alunos de engenharia e dos engenheiros egressos no desenvolvimento dos saberes do mundo da engenharia, com foco no campo da Indústria 4.0. Avaliou-se ainda a postura do aluno na escola e do engenheiro na empresa, qual conhecimento ele imagina necessário para identificar competências que o apoiarão no seu desempenho e se seriam avaliadas questões relativas à qualificação, à competência, a ambas ou a nenhuma delas.

Durante as entrevistas, foi possível identificar as principais motivações que estimulam os alunos e os egressos a desenvolverem sua carreira no ambiente da engenharia. Quanto à

seguinte questão: “5) *Descreva a sua motivação atual para estudar engenharia*”, entre os alunos, foram obtidos os seguintes relatos:

Aluna 1: “*A possibilidade de atuação profissional em diferentes áreas.*”

Aluno 2: “*Interesse pela área automotiva.*”

Aluno 4: “*Atuar em uma área focada na solução de problemas.*”

Aluno 5: “*Compreender mais a respeito do universo e como se conectam.*”

Aluno 6: “*Meu amor por carros.*”

Aluno 7: “*Interesse em Ciências Exatas e curiosidade de entender o funcionamento de sistemas mecânicos.*”

Aluna 8: “*Conhecer mais sobre eletrônica.*”

Aluno 9: “*Gostar de resolver desafios e trabalhar com máquinas, principalmente motores de combustão interna.*”

Aluno 10: “*Sempre quis trabalhar no setor automotivo.*”

Aluna 11: “*Boas opções de empregos bem remunerados e possibilidade de trabalhar com pesquisa e desenvolvimento.*”

Aluna 12: “*Sempre gostei de desafios. Acho incrível o ato de criar alguma coisa, ter ideias inovadoras para algo que já existe, ou até mesmo ajudar a melhorar a vida das pessoas por meio da tecnologia.*”

Aluno 13: “*Gosto de entender o funcionamento dos sistemas físicos, saber projetá-los e poder ver aquilo que foi desenvolvido e idealizado nas contas e no papel em funcionamento no mundo físico, em aplicações com utilidades diversas.*”

Aluno 14: “*Gostaria de ter uma visão mais geral das engenharias e depois ter a oportunidade de especificar em áreas de interesse.*”

Aluno 15: “*Porque engenharia para mim é resolver os problemas.*”

O questionário semiestruturado também buscava identificar as principais motivações que estimulam e mantêm os egressos conectados e motivados a se manterem na carreira de engenharia. Para a questão a seguir: “5) *Descreva a sua motivação atual em trabalhar na área da engenharia*”, direcionada aos egressos nas entrevistas, foram obtidos os seguintes relatos:

Egresso 1: “*Sempre gostei de tecnologia, e de desenvolver itens que facilitem o dia a dia.*”

Egresso 2: “*Tecnologias de ponta.*”

Egresso 3: “*A evolução em tecnologias integradas e focadas em precisão.*”

Egresso 4: *“Resolução de problemas atuais e contribuir para o país atuando nas empresas.”*

Egressa 5: *“Desenvolvimento de soluções.”*

Egresso 6: *“É uma área que me identifico, fiz o curso técnico antes. Decidi para poder crescer na carreira.”*

Egresso 7: *“A conclusão do projeto, o início de produção é que me dá satisfação e me motiva atualmente.”*

Egresso 8: *“Pessoalmente, minha principal motivação em trabalhar na área de engenharia é conseguir aplicar e desenvolver conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Além de me aperfeiçoar em áreas que tenho interesse.”*

Egresso 9: *“Trata-se de um ambiente com processos, controle, criatividade e inovação e são ingredientes que desencadearam interesse além do reconhecimento e remuneração.”*

Egresso 10: *“Fazer engenharia era um sonho que conquistei após os 40 anos, mas antes fiz Gestão da Produção Industrial, Matemática e Física.”*

Egresso 11: *“Afinidade com Ciências Exatas.”*

Egresso 12: *“Bom entender melhor como funciona os equipamentos da nossa civilização, tanto pelas partes mecânicas quanto também tudo que está estática nas estruturas que a gente projeta e que a gente precisa no nosso dia a dia.”*

Egresso 13: *“Para acompanhar minha família que mexe um pouco mais com essa parte de engenharia.”*

Egresso 14: *“A forma de pensar e solucionar os problemas mesmo.”*

Egresso 15: *“O fato da engenharia ser muito ligada ao desenvolvimento socioeconômico, ao progresso e aplicação de desenvolvimento científico.”*

O Egresso 7 fez ainda questão de comentar, adicionalmente:

Sempre fui, desde pequeno, um pouco engenheiro, no sentido de gostar de entender o funcionamento das coisas e atualmente minha motivação é que continuo com extrema satisfação quando pensamos uma ideia, um produto, esse produto é construído, instalado e colocado em funcionamento! (Egresso 7, 2022)

A entrevista continua, a partir desse ponto, abordando a seguinte questão, idêntica para alunos e egressos: *“6) Você considera estar preparado para o mercado de trabalho atual? Por quê?”*. Os Gráficos 9 e 10 trazem uma coletânea das respostas positivas e negativas, as quais serão exploradas com mais detalhes, na sequência.

Gráfico 9 – Resposta dos Alunos para a Questão 6

SIM Aluno 01	SIM Aluno 02	NÃO Aluno 03	NÃO Aluno 04	NÃO Aluno 05
SIM Aluno 06	NÃO Aluno 07	NÃO Aluno 08	NÃO Aluno 09	SIM Aluno 10
NÃO Aluno 11	NÃO Aluno 12	SIM Aluno 13	NÃO Aluno 14	SIM Aluno 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 10 – Resposta dos Egressos para a Questão 6

SIM Egresso 01	SIM Egresso 02	NÃO Egresso 03	SIM Egresso 04	SIM Egresso 05
NÃO Egresso 06	SIM Egresso 07	NÃO Egresso 08	SIM Egresso 09	NÃO Egresso 10
SIM Egresso 11	SIM Egresso 12	SIM Egresso 13	SIM Egresso 14	NÃO Egresso 15

Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme podemos perceber, a maioria dos alunos está pessimista e a maioria dos egressos está otimista a respeito da sua capacidade de encarar os desafios profissionais, a partir da sua situação atual ou futura. Todavia, como veremos a seguir, foi comum o relato durante as entrevistas de que a preparação vem de uma situação de curiosidade e de busca por

conhecimento e por saberes adicionais aos que são oferecidos e absorvidos nas escolas de engenharia. A Aluna 1 fez o seguinte relato:

É difícil responder concretamente essa pergunta. As áreas de atuação de um engenheiro nos dias atuais são muito diversificadas. Mas é claro que todas ou boa parte delas passam pela necessidade de se adequar a tecnologia que envolve os processos atuais, onde algumas empresas se dedicam bastante para essa inserção enquanto outras não. Me sinto preparada pela vontade de aprender e pelo interesse em descobrir e fazer coisas novas e porque acredito que uma boa comunicação é a chave para se conquistar espaços. (Aluna 1, 2022)

Na resposta do Egresso 7 – *“Sim, porém não podemos ficar parados. A cada dia aumenta mais ainda a necessidade de atualização e de se manter atento a todas as novas tecnologias que surgem.”* – percebemos sua preocupação em não ficar de fora do ciclo de atualização de conhecimento, mesmo quando já se está desenvolvendo uma carreira consolidada na engenharia.

É de se antecipar que também a educação deva sofrer transformações. Mudanças também devem ocorrer no entendimento dos novos perfis de pessoas e profissionais, dessa vez com alto nível de conectividade e com a realidade de uma possível migração entre profissões durante a sua trajetória. Ademais, a preparação para a realidade profissional, ainda na fase de graduação, deve ser observada, como aparece na observação do Aluno 4: *“Em partes. Tenho boas qualidades de trabalho em equipe e conhecimentos de softwares necessários à área, mas, por ainda não ter feito estágio, me falta conhecimento prático do funcionamento de empresas.”*. Esse ponto se assemelha à proposta de Zarifian (2011), quem diz que a qualificação é a “caixa de ferramentas” do indivíduo e a competência é o ato de utilizá-la de forma apropriada.

Outro item a se destacar é a importância da formação do indivíduo e sua qualificação para o entendimento e a capacidade de inquirir sobre os temas atuais e relevantes da Indústria 4.0. A primeira categoria se refere ao perfil e à motivação dos alunos de engenharia e dos engenheiros egressos no desenvolvimento dos saberes do mundo da engenharia, mais agudamente no campo da Indústria 4.0. Avaliou-se ainda a postura do aluno na escola e do engenheiro na empresa, e qual conhecimento ele imagina necessário para identificar competências que o apoiarão no seu desempenho.

Uma declaração da Aluna 15 provoca uma reflexão sobre as instituições de ensino, o seu renome e a deficiência em relação à educação, pois ela questiona como estariam outras instituições preparadas para cumprir esse propósito e como estarem atualizadas, sem estarem figuradas em uma hipotética lista de entidades de referência.

Entre as universidades públicas pode-se conseguir trazer um equipamento para sala de aula ou você comprar ele e depois acondicionar em um projeto. Talvez a questão do investimento poderia ser contornada para algumas instituições por parcerias público-privadas, não sei. Um laboratório particular, patrocinado ou dentro de uma empresa poderia ser outra opção, de modo que a empresa abrisse a possibilidade que nós fôssemos lá para ter aula e o professor também. Ai teria que ver se realmente é possível, mas é uma ideia, não é impossível, algumas faculdades públicas têm laboratórios de empresas particulares. (Aluna 15, 2022)

Os relatos dos entrevistados revelam que a formação tradicional é um fator de facilitação para a preparação de análise crítica e conseqüente inquietação sobre o que procurar e quais lacunas precisam ser preenchidas entre o ensino teórico, em sala de aula, e as aplicabilidades de tecnologia, que estão sendo solicitadas no mundo atual. Porém, a realidade exige uma adaptação e empenho individual para a manutenção da atualização. Afirma o Egresso 6: *“Eu descobri que depois que a gente forma temos a teoria, mas temos muitos obstáculos que a gente não consegue superar só com a formação em engenharia.”*

Uma análise conjunta das respostas à questão seguinte – *“Você considera estar preparado para o mercado de trabalho atual? Por quê?”* – conduz-nos a compreender que as competências passam a ser essenciais para a segurança e para o preparo aos desafios da carreira de engenharia; na perspectiva analisada, não basta que o profissional tenha uma boa formação e qualificação, é importante que se mostre capaz de mobilizar seus conhecimentos para solução dos problemas que lhe são apresentados e de desenvolver demais atributos julgados necessários na área em que se encontre. O Egresso 3 responde que não está preparado para o mercado, justamente por não conseguir acompanhar a velocidade com que a tecnologia e as demandas profissionais evoluem.

A última questão desse bloco de categorização da entrevista é a seguinte: *“7) Apresente seus pontos fortes e pontos fracos recebidos na sua formação tecnológica atual”*. Igualmente, a questão foi realizada para os Egressos e os Alunos. As representações visuais das respostas se encontram nas Figuras 11, 12, 13 e 14:

Figura 11 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fortes Alunos

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 12 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fracos Alunos

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 13 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fortes Egressos



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 14 – Estrato das respostas à Questão 7) – Pontos Fracos Egressos



Fonte: elaborado pelo autor.

A declaração da Aluna 1 deve ser ressaltada:

Os pontos fortes seriam aqueles que nós, os próprios alunos, buscamos nos projetos de extensão da universidade e dos professores que ousam diversificar o conteúdo do curso de forma a incrementar com novos recursos tecnológicos. Até então, minha formação no geral não está tão inserida em amplos recursos tecnológicos tão avançados como o que o mundo está inserido. (Aluna 1, 2022)

Para o Egresso 6, a realidade que foi encontrada na profissão como engenheiro, em relação à escola, é descrita assim:

Ponto forte é a cobrança na aprendizagem teórica. Saí do curso com uma bagagem teórica muito grande, mas, por exemplo, eu já vi um transformador de potência de 1 Mega, não, nunca vi. Eu já vi um gerador Hidráulico ou Eólico, não. A gente sabe que está fazendo a coisa certa, que está projetando tudo certo, mas gente não tem aquela maldade de ver a operação, ver o negócio funcionando, ver os defeitos, os potenciais problemas, na fábrica, com a mão na massa. O que falta na faculdade muitas vezes é isso, aquele operacional, vamos dizer assim. (Egresso 6, 2022)

Conclui-se, assim, que as competências dos engenheiros não se dão somente por sua qualificação e conhecimentos adquiridos em sala de aula, aspectos relacionados à habilidade de aprender, para além dos temas presentes na matriz curricular da engenharia, também passaram a ser itens de avaliação aos quais o profissional deve estar atento e buscar ampliar, desenvolver e se atualizar.

Observa-se que a ainda temos espaço para melhorias nas escolas de Minas Gerais, os cursos de engenharia podem estudar a aplicação e o desenvolvimento de competências, e boas práticas, na forma proposta pela linha francesa, em que a autonomia é um dos conceitos-chave, conforme se destacou anteriormente: “a autonomia é uma condição inevitável do desenvolvimento da competência; o coração desta última, no entanto, reside na tomada de iniciativa” (ZARIFIAN, 2003).

A partir da coleta de resultados da pesquisa nota-se a necessidade em ampliar o uso de mecanismos que antecipem a realidade da indústria, e adotar boas práticas para estimular o aluno a encontrar segurança na academia. Notadamente os egressos confirmaram que as empresas adotam programas de treinamento, nivelamento e preparação para os jovens engenheiros, egressos da escola, assumindo assim uma responsabilidade que deveria ser anterior ao processo formativo.

5.2 Categorização dos resultados da pesquisa para atendimento ao segundo objetivo específico

Nesta seção, serão apresentados os resultados da pesquisa que se relacionam ao segundo objetivo específico desta dissertação, qual seja: *identificar as competências necessárias para o ambiente da Indústria 4.0.*

Como destacado neste trabalho, para que o profissional moderno possa desenvolver competências no seu âmbito de atuação, no que se refere à linha de pensamento francesa, há a necessidade de mudanças na forma de relação na escola e na empresa, de modo que o engenheiro, aluno ou egresso, tenha autonomia e responsabilidades, por exemplo, deslocando-se do modelo taylorista de prescrição da tarefa para se concentrar no desempenho, atuando para a melhoria da sociedade e da qualidade de vida de todos.

Esse aspecto se encontra especialmente elevado no contexto de uma indústria em constante atualização, como na Quarta Revolução Industrial. Durante as entrevistas, explorou-se a conceitualização e profundidade que os alunos e egressos demonstram ter a respeito do conhecimento das tecnologias identificadas como pertencentes ao plantel da Indústria 4.0.

Desse modo, procurou-se verificar, neste bloco, a exposição dos entrevistados ao universo da Indústria 4.0 e como se realiza o aprendizado desse conteúdo, por experiência, curiosidade, exposição ao conteúdo ou por retorno de sua interação com os meios. Pelos relatos dos entrevistados, acura-se ainda como esse aprendizado difere na empresa e na escola.

As perguntas da entrevista semiestruturada que sustentam este bloco da categorização dos resultados são as seguintes:

- 8) *O que você entende por Indústria 4.0? Explique.*
- 9) *O que compõe a Indústria 4.0?*
- 10) *Na sua formação em engenharia em algum momento foi abordado esse tema em sala de aula ou nas atividades complementares?*
- 11) *O que você entende como processo de transformação digital?*
- 12) *Indique exemplos das tecnologias habilitadoras para a revolução digital.*

As questões acima foram aplicadas durante as entrevistas, em igual teor para os egressos e para os alunos de engenharia.

Entre os alunos foi observado que o tema “Indústria 4.0” é reconhecido, e até mesmo mencionado em sala de aula; entretanto, não se pode notar que os alunos tenham recebido da academia exploração em profundidade do assunto. O Aluno 3 indicou em sua fala que o argumento foi abordado em sala de aula por alguns professores, mas que ele não entende muito sobre os conceitos da Indústria 4.0.

Durante a maioria das entrevistas pudemos observar a vontade e o esforço dos alunos em demonstrar interesse pelo tema, mas sempre atrelado a algum receio de não estar descrevendo corretamente os conceitos. Na conversa com o Aluno 2, identificou-se a falta de exposição ao conteúdo da Quarta Revolução Industrial, digitalização e tecnologias de ponta. Outros entrevistados, alunos de engenharia, como o Aluno 9, também demonstraram um conhecimento raso sobre os temas da Indústria 4.0, mas apenas o Aluno 2 confirmou desconhecer completamente o assunto.

Mesmo considerando que apenas um aluno se encontra totalmente alheio aos conceitos do atual estágio de desenvolvimento tecnológico, principalmente o que está sendo desejado pela indústria, é preocupante que um estudante de engenharia, de uma instituição de ponta no país, ainda não tenha se interessado, recebido alguma demanda ou retorno sobre a importância dos conceitos ou sido exposto ao tema.

A maior parte dos alunos informa que o que tiveram de exposição ao conceito da Indústria 4.0 ocorreu em forma de atividade extracurricular, nas Empresas Juniores, Competições Estudantis e palestras, dentro e fora da faculdade. Curiosamente, muitos alunos mencionaram que a única vez que o tema surgiu formalmente em uma aula foi na matéria de “Introdução à Engenharia”; ademais, o tema apareceu também, segundo os entrevistados, quando profissionais do mercado são convidados para falar da experiência de trabalho e da carreira de engenheiro.

Destaca-se uma fala da Aluna 11, quanto ao seu entendimento sobre o processo de transformação digital: *“A utilização cada vez mais intensa da transmissão digital de dados para possibilitar ou facilitar atividades humanas.”* (Aluna 11, 2022).

As tecnologias que apareceram nas respostas dos alunos, como as habilitadoras da Indústria 4.0, foram: Telemetria; Computadores; Sensores; *Machine Learning*; Inteligência Artificial; Internet das Coisas; Conexão 5G; Carros Autônomos; e Robótica.

Entre os alunos, podemos salientar a contribuição da Aluna 1, que declarou:

Entendo a Indústria 4.0 por uma indústria que está trabalhando amplamente com processos monitorados e controlados pela captação de dados em tempo real, pela simulação e pelo controle e tomada de decisões baseados em programação e base de dados. (Aluna 1, 2022)

O direcionamento das entrevistas neste bloco serve para apoiar a identificação e classificação das competências dispostas para a atuação do engenheiro na indústria moderna. Quando passamos para a análise do resultado entre os egressos, podemos notar uma maior

maturidade nos conceitos propostos, com evidente distinção de um processo de aprendizado independente da escola. No trabalho, pela curiosidade ou por meio da procura de cursos extracurriculares, o egresso se apoia melhor do que os alunos na defesa de seu conhecimento sobre a temática que contorna e define a Quarta Revolução Industrial.

O Egresso 6 afirma:

Não, não, a gente não teve nada sobre Indústria 4.0, não sei se é porque eu formei em 2017, mas a programação em si eu tive que fazer por conta. A faculdade não cobra esse tipo de matéria no curso, não tem nada em relação a essa parte de programação, MATLAB, Programação C, foi totalmente por minha conta. (Egresso 6, 2022)

Confirmando também pelos egressos que a complexidade do universo da Quarta Revolução Industrial não permite uma absorção completa de seus conhecimentos, encontra-se proposto um dilema entre a preparação acadêmica, forçada em uma construção da base, e a necessidade de atuação prática, direcionada para um ponto ou conjunto limitado de soluções.

Nas falas dos egressos, percebe-se a dificuldade e insegurança entre procurar estar preparado de forma generalista, ainda que consumindo mais conteúdo extracurricular à matriz principal da engenharia, ou dedicar-se a ser um especialista e mais preparado para uma área de atuação concentrada ou específica, quase sempre em torno da atuação momentânea profissional.

Como exemplos desse dilema podemos destacar os seguintes relatos:

Não foi abordado o tema da Indústria 4.0 em sala de aula, pois meus estudos ocorreram antes do movimento da Indústria 4.0, meus conhecimentos são oriundos de interesse pessoal, através de estudos e pesquisas sobre as tecnologias e assuntos envolvidos. (Egresso 3, 2022)

Os assuntos relativos à Quarta Revolução Industrial e Indústria 4.0 foram abordados de forma generalista na faculdade de engenharia, sem aprofundamento em tecnologias específicas. (Egresso 8, 2022)

Apesar de ter concluído agora o meu curso de engenharia, muito pouco foi abordado sobre Indústria 4.0, o que sei é porque sou professor de Administração da Produção e de Tópicos Especiais e o tema central dessas disciplinas é a 4ª Revolução Industrial e tudo o que compõe. (Egresso10, 2022)

As tecnologias que apareceram nas respostas dos egressos, como as habilitadoras da Indústria 4.0, foram: Integração de Sistemas; Robôs; Simulação; BigData; Realidade Aumentada; Internet Industrial; Segurança Cibernética; Inteligência Artificial; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Internet das Coisas; Robótica Avançada; Manufatura Digital; Manufatura Aditiva; Sistemas de simulação; e Digitalização.

A importância do tema e a coerência em se identificar as competências necessárias para suportar o desenvolvimento de sistemas no patamar de tecnologia atual podem ser encontrados na declaração do Egresso 9:

Trata-se de um processo de mudança de forma as vezes disruptiva na concepção de padrões e práticas tal qual focando em redução de custo da produção, aumento da produtividade, ganho em qualidade de processo produtivo e finalmente o retorno financeiro. (Egresso 9, 2022)

O Egresso 10 lembrou, durante a entrevista, que a Transformação Digital é uma mudança de mentalidade, a partir da qual as empresas buscam o objetivo de se tornarem mais modernas e acompanharem os avanços tecnológicos que não param de surgir.

A Profa. Dra. Adriana Tonini nos brinda com a reflexão:

Como o conhecimento que se processa na universidade não se esgota no ato de receber informações, mesmo que sejam atualizadas, é importante que essas informações sirvam de ponto de partida para a produção de novos conhecimentos, que, por sua vez, devem ser comunicados, socializados, avaliados e enriquecidos. A Universidade acontece quando alunos e professores se dispõem a protagonizar esse processo. (TONINI, 2011, p. 5)

A formação acadêmica deve contribuir para a formação de indivíduos comprometidos com a profissão, qualificar engenheiros para assumir um papel ativo na gestão de informação e tecnologia, que são agentes de mudança, tornando-os facilitadores e guias para as gerações futuras.

O desenvolvimento da carreira do engenheiro deve complementar a formação dos estudantes e atender às necessidades de informação da sociedade. Necessitamos de selecionar, preparar, desenvolver e treinar os recursos humanos necessários para o desenvolvimento de serviços e produtos, necessários à existência humana e a seu progresso como civilização.

5.3 Categorização dos resultados da pesquisa para atendimento ao terceiro objetivo específico

Nesta seção, por fim, serão apresentados os resultados da pesquisa que se relacionam ao terceiro objetivo específico desta dissertação: *definir as competências que o profissional em tecnologia necessita adquirir para desenvolver os conceitos da Indústria 4.0*. Nesse sentido, procurou-se identificar as competências apontadas como necessárias para a atuação do engenheiro, segundo sua perspectiva. Para tanto, foi solicitado aos entrevistados que

expusessem seu ponto de vista, assinalando as competências julgadas essenciais na sua atuação diária, na escola e na indústria.

Nesta terceira e última sessão de análise qualitativa do resultado da pesquisa, desenvolveremos as considerações alinhadas com a proposta do objetivo geral deste estudo. Queremos verificar as competências na formação tecnológica dos profissionais, alinhadas com a necessidade do mercado, que afiancem a diminuição de desarmonia entre o conteúdo e absorção desse conteúdo na academia e a sua aplicação nas demandas atuais da indústria.

Esclarece-se que tal conceito foi adotado levando-se em conta a fala dos entrevistados, em que as competências listadas como essenciais à sua atuação correspondiam àqueles atributos que serviam como base para a solução dos problemas ocorridos em situação de trabalho, aspecto muito associado à noção de acontecimentos tratada por Zarifian (2011) como sendo “o que ocorre de maneira parcialmente imprevista, inesperada, vindo a perturbar o desenrolar do sistema normal de produção” (ZARIFIAN, 2011, p. 41), cabendo ao indivíduo o confronto e a resolução desse problema gerado pelo acontecimento. O Egresso 6 destaca a importância da atuação voltada para situações na empresa que não são de escopo teórico de engenharia, como a liderança de pessoas:

Olha conhecimento eu diria que algo teórico, como um gerador funciona, algo que temos ali no papel. Agora competência seria por exemplo aquilo que torna você um líder, ao mesmo tempo que o conhecimento se forma com o tempo, eu acho que não é porque eu formei engenheiro que eu vou sair liderando uma equipe. Eu irei precisar o processo como a equipe trabalha, competência é também saber lidar com as pessoas para o propósito da empresa e do seu projeto. (Egresso 6, 2022)

Dessa forma, ao listarem, por exemplo, o conhecimento técnico como base para competência, mas não suficiente, os entrevistados se baseiam na ideia de que a mobilização desse conhecimento é a chave para a resolução de problemas, além do poder de argumentação, com a equipe ou com determinado cliente, possibilitando resolver uma dada situação. Ressalta-se que o importante é a utilização ou a mobilização do conhecimento técnico em situação de trabalho, como destaca Perrenoud (1999, p. 54) “um 'simples erudito', incapaz de mobilizar com discernimento seus conhecimentos diante de uma situação complexa, que exija ação rápida, não será mais útil do que um ignorante”. Os Egresso 8 e 13 afirmam:

Acredito que a escola de engenharia fornece uma formação generalista, que nos possibilita aprender e atuar em várias áreas. Dentro da universidade a especialização passa por um cunho mais acadêmico, de pesquisa. Já o mercado, muitas vezes, espera uma formação técnica com domínio de ferramentas operacionais específicas. Por isso acredito que em muitos casos existe um desalinhamento entre mercado e universidade. Além disso, acredito que existe margem para uma

colaboração muito maior entre empresas e universidades, com desenvolvimento de tecnologias disruptivas em conjunto, financiamento de projetos de pós-graduação e outros. (Egresso 8, 2022)

Sem formar mão-de-obra e recapacitar a atual formada o brasil perderá muita competitividade. É necessário também incentivo massivo para o treinamento nas empresas, onde devem ser criados programas específicos para atualização da mão de obra. (Egresso, 13 2022)

De forma análoga, entre os demais termos coletados pelas entrevistas, encontramos também aqueles que dizem respeito à sua utilização prática e estão relacionados aos verbos “saber”, “agir”, “mobilizar”, “comunicar”, “adaptar”, “realizar” etc.

Observa-se que o “conhecimento técnico” foi o mais citado pelos entrevistados como sendo relevante para a atuação profissional, reforçando a importância de se ter uma formação sólida no que se refere ao conteúdo ministrado nas Instituições de Ensino Superior. O destaque para o conhecimento técnico ratifica sua posição como elemento-chave que possibilita a competência do indivíduo, uma vez que, conforme apontado por Zarifian (2011), é apoiado em conhecimento que o indivíduo se orienta para tomar as atitudes necessárias em uma dada situação. Da mesma forma, Fleury e Fleury (2000) destacam que o conhecimento é importante para gerar competência. Contudo, esclarecem que “os conhecimentos e o *know-how* não adquirem status de competência a não ser que sejam comunicados e trocados. A rede de conhecimento em que se insere o indivíduo é fundamental para que a comunicação seja eficiente e gere competência” (FLEURY; FLEURY, 2000, p. 21). Le Boterf (2003), por sua vez, assevera que, “para agir de forma pertinente, um profissional deve, não só deter, mas também saber combinar e pôr em prática um conjunto coerente de recursos” (LE BOTERF, 2003, p. 61).

A concepção americana também ressalta a importância do conhecimento para que o indivíduo possa ser competente. Boyatzis (1982) destaca que o conhecimento é um dos elementos para possibilitar que o indivíduo tenha um alto desempenho e, conseqüentemente, seja reconhecido como competente.

Ao se verificar as competências previstas nas Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação de Engenharia – Resolução CNE/CES nº 11/2002, observa-se que o conhecimento técnico é base de vários itens, entre os quais podemos destacar: “I - aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia” (BRASIL, 2002). Os relatos a seguir destacam a importância do conhecimento sobre tecnologia no contexto da educação e da atuação profissional dos entrevistados:

O engenheiro tem que ser capaz de entender a causa e a consequência das coisas como um todo. A tecnologia é um facilitador desse processo. Para se tomar decisões

corretas e mais coerentes, quanto mais informações, melhor. E é aí que tecnologia entra, como uma ferramenta. (Aluno 14, 2022)

A tecnologia é a base para o trabalho e atuação do engenheiro, sendo realmente seu objeto de trabalho e estudo. A tecnologia está sempre se desenvolvendo justamente pelo trabalho contínuo dos engenheiros e demais profissionais da tecnologia, sendo indispensável que esta categoria esteja sempre em dia com o estado da arte da tecnologia. (Aluno 13, 2022)

Acho que o trabalho do engenheiro é lidar e usar a tecnologia a nosso favor. Acho que um engenheiro que nunca lidou/compreendeu uma tecnologia no sentido mais amplo não é um engenheiro de verdade. (Aluno 5, 2022)

Fábricas mais tecnológicas, digitais, e integradas aumentam a eficiência e o potencial competitivo. Para isso, as empresas precisam de profissionais capacitados, o que passa pelo desenvolvimento de competências na formação tecnológica. (Egresso 8, 2022)

A gestão de pessoas é outro item citado constantemente pelos entrevistados. Nesse quesito, verificam-se alterações na forma taylorista/fordista de trabalho. O profissional contemporâneo tem de saber gerir e motivar a sua equipe em busca dos resultados esperados pela organização. Evidencia-se, assim, a necessidade, por parte do profissional, de saber lidar com a equipe de forma a envolvê-la no processo, de tal maneira que, conforme Zarifian (2011), a rede de atores mobilizada em tal situação, objetivo ou projeto, assuma os campos de corresponsabilidade e compartilhe as implicações de uma dada situação, o que consiste em um desafio para as organizações. O depoimento do Egresso 6 nos alerta:

O maior desafio hoje, depois que eu formei é lidar com pessoas, não necessariamente é o projeto em si. Porque eu descobri que o meu projeto, para eu fazê-lo, não adianta mais só a minha teoria, mas a minha percepção do projeto, o que eu preciso para fazer esse projeto, só que ao mesmo tempo eu preciso de alguém para me auxiliar, preciso de pessoas que se sintam motivadas para fazer esse tipo de serviço. (Egresso 6, 2022)

Observa-se, ainda, que a gestão de pessoas não está listada nas Diretrizes Curriculares Nacionais como uma das competências a serem desenvolvidas pelas Instituições de Ensino Superior durante a formação do aluno, o que de fato é relatado pelos profissionais como uma carência em sua formação.

Para Fleury (2000), deve-se ponderar o desenvolvimento das capacidades de discutir, estimular e influenciar positivamente outras pessoas a colaborarem, efetivamente, para atingir os objetivos organizacionais, conduzir processos para obtenção de consenso, objetivando resultados satisfatórios para as partes envolvidas e, principalmente, para a organização, em

situações externas e internas, argumentar coerentemente, de forma a persuadir as pessoas na venda de ideias, e especialmente aceitar pontos diversos dos seus.

Segundo o Egresso 13:

Meu estudo vem da motivação pessoal, mas muitos profissionais não têm essa disciplina ou visão. É complexo seguir de forma autônoma também, pois existem muitas opções de estudo e podemos nos perder. Sinto falta de um guia pessoal ou escola mais especializada. (Egresso 13, 2022)

Conectamos esse pensamento com a competência definida como “IX – atuar em equipes multidisciplinares” (BRASIL, 2002), presente nas Diretrizes Curriculares Nacionais, contempla a possibilidade de desenvolvimento do relacionamento interpessoal e da capacidade de negociação, que serão elementos importantes para a atuação em equipe.

Conhecimentos específicos da empresa, incluindo o conhecimento de equipamento, processos, situação no mercado e suas limitações, por exemplo, são também um elemento com recorrentes citações entre os entrevistados e se referem ao conhecimento adquirido, em geral, em situação de trabalho ou treinamentos internos, e que estão vinculados diretamente à empresa ou à área específica de atuação em que o profissional se encontra. De acordo com Fleury e Fleury (2000), trata-se de uma competência técnica, semelhante ao conhecimento técnico, citado anteriormente, inclusive na sua forma de aplicação, consistindo na mobilização desse conhecimento para possibilitar o saber agir em uma dada situação prática. Fleury e Fleury (2000) apresentam como definição de “conhecimentos específicos”: deter informações e conhecimentos técnicos relativos à sua área; utilizá-los e atualizá-los constantemente, visando ao cumprimento de atividades, resolução de problemas ou desenvolvimento de projetos/produtos; disponibilizar os novos conhecimentos desenvolvidos interna ou externamente, garantido sua circulação (FLEURY; FLEURY, 2000).

Por se tratar de conhecimento específico da empresa, talvez se possa justificar que não ocorra grande desenvolvimento no ambiente acadêmico. Nesse aspecto, itens relacionados nas Diretrizes Curriculares Nacionais, como analisar e supervisionar sistemas, são desenvolvidos durante a graduação, com base nos conhecimentos teóricos dos processos mais comumente utilizados e não nas peculiaridades de cada empresa. Os relatos abaixo destacam a necessidade de conhecimentos específicos para a atuação profissional, inclusive em relação à inexistência de direcionamento específico para essa abordagem nas escolas de engenharia.

As áreas atuação de um engenheiro nos dias atuais são muito diversificadas. Mas é claro que todas ou boa parte delas passa pela necessidade de se adequar à tecnologia que envolve os processos atuais, onde algumas empresas se dedicam bastante para

essa inserção enquanto outras não. Me sinto preparada pela vontade de aprender e pelo interesse em descobrir e fazer coisas novas e porque acredito que uma boa comunicação é a chave para se conquistar espaços. (Aluna 1, 2022)

A UFMG é uma excelente universidade. Por essa razão, temos acesso à algumas novas tecnologias. Porém, por uma questão de custo e atualizações tecnológicas recentes, nem sempre estudamos com base nas tecnologias mais atuais. (Aluno 3, 2022)

Em matérias teóricas e práticas na faculdade é difícil obter alguma experiência, mas buscar a tutoria de professores para iniciação científica ou TCC permite aprofundar melhor na área. (Aluna 8, 2022)

Existem alguns professores (normalmente os mais novos) que tiveram passagem recente pela indústria ou que estudam sobre as novas tecnologias. Mas isso depende da matéria e do professor. (Aluna 15, 2022)

Algumas escolas não conseguem transmitir aos seus alunos a realidade do que encontrarão no mercado quando iniciarem no mercado de trabalho. Deveria haver uma disciplina focada em explorar as diversas realidades existentes, para os principais segmentos de atuação. (Egresso 14, 2022)

A engenharia ainda fica um pouco atrás do mercado de trabalho em atualizações, é muito difícil a escola conseguir acompanhar as inovações ao mesmo tempo que cheguem na indústria. (Egresso 7, 2022)

Sim, a engenharia ainda fica um pouco atrás do mercado de trabalho em atualizações, é muito difícil a escola conseguir acompanhar as inovações ao mesmo tempo que cheguem na indústria. (Egressa 5, 2022).

Entendo que falta na escola trazer os problemas reais da indústria. Muita teoria e pouca visão dos problemas reais. Se o Brasil não dominar as tecnologias em I 4.0 e formar sua mão de obra, estará em sérios problemas com relação a competitividade. (Egresso 13, 2022).

Como dito anteriormente, ainda é utilizado um método de ensino arcaico, no entanto existem formas de contornar esse problema, como o aproveitamento de atividades extracurriculares como ferramenta de aprendizado. (Egresso 2, 2022)

Dentro dessa perspectiva, também é necessário que o profissional desenvolva o conhecimento a respeito da empresa, não somente sobre os processos da empresa, mas também sobre sua posição no mercado, seu plano estratégico, seus objetivos, bem como a situação econômica na qual ela está inserida, temática que fica acentuada no contexto da Indústria 4.0.

Outro item relatado, que dificilmente pode ser desenvolvido durante a formação do aluno, no contexto atual, é a “experiência na área de engenharia”. A experiência em engenharia ressalta o caráter da possibilidade de desenvolver competências pelo número/quantidade de experiências singulares em que o profissional pode atuar. Nesse aspecto, Le Boterf (2006) ressalta a necessidade de reflexão do indivíduo sobre a situação pela qual passou para que seu desenvolvimento efetivamente ocorra. De maneira semelhante, Zarifian (2011) indica que se

defrontar com um número de acontecimentos singulares propicia o desenvolvimento da competência do indivíduo, desde que ele saiba aproveitar tais situações.

Citando várias tecnologias que abordamos anteriormente, o Egresso 13, indica como elas se relacionam no trabalho e aplicação de competências na dinâmica de mercado:

Entender melhor seu cliente e digitalizar a forma que seu produto pode ser consumido. O Cliente precisa ser capaz de comprar produtos e serviços de onde ele está, pelo celular ou computador. A empresa deve entender a jornada do cliente ao consumir seus produtos ou serviços. Deve monitorar esse processo e antecipar necessidades e corrigir pontos de falha, para tal precisa ler dados (IoT e Big Data) aplicar Machine Learning e estatística para entender tendências. Precisa também ter internamente ferramentas que permitam sua equipe trabalhar de forma colaborativa (cloud) e ágil. Isso envolve uma gestão mais horizontalizada, quebrando barreiras entre cargos de chefia e chão de fábrica. O espírito de liderança deve estar em todos departamentos e níveis, permitindo que seja efetivamente criada uma democracia das melhores ideias e práticas. (Egresso 13, 2022)

Passar da escola ao trabalho é, então, entrar em uma situação social em que se precisa arriscar seu saber e sua responsabilidade, em que se precisa estar bem menos distante. É preciso se envolver bem mais em seu trabalho profissional assalariado do que em seu trabalho na escola, porque no trabalho profissional se corre mais riscos e porque os outros também correm mais riscos. Isso quer dizer que a falta de experiência dos jovens, mas não se pode considerar que isso seja um fenômeno novo, viria menos dos conteúdos profissionais do que de comportamentos sociais, visto que as experiências cruciais da condição salarial e da tomada de responsabilidade diante do outro só poderiam se travar no ambiente da empresa (ZARIFIAN, 2011).

O Egresso 4 relata que o exercício profissional não depende só da formação: “*Para seguir na profissão como engenheiro é preciso adequar-se a um universo de empresas com tecnologias em constante desenvolvimento e renovação*” (Egresso 4, 2022). Para isso, as empresas procuram os profissionais mais capacitados, o que passa pela exposição anterior dos alunos e egressos no desenvolvimento de competências na formação tecnológica. Contudo, observa-se que a expectativa é que a experiência profissional seja desenvolvida durante a vida profissional do indivíduo e, dessa forma, era de se esperar que não constasse nas Diretrizes Curriculares Nacionais. Ainda que o aluno deva realizar o estágio obrigatório durante o curso e, em geral, de curta duração, o que permite um primeiro contato com o ambiente empresarial, mas não com o intuito de dotá-lo de grande experiência na área.

Particularmente sobre o estágio ou sobre experiência profissional antecipada, durante o curso de graduação em engenharia, alguns entrevistados relataram:

Precisamos mudar a cabeça dos professores, porque eu falo isso. Eu não tive a oportunidade de ir às empresas e fazer um estágio durante o curso. Deveria parar por 6 meses para irmos conhecer na prática a aplicação dos conceitos da teoria, o que podemos fazer para o profissional se formar, posso deixar trabalhar. Interessante conciliar o profissional mão na massa com a teoria. (Egresso 6, 2022)

Acredito que uma formação em que se tem muito contato com novas tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 permite aos estudantes terem uma melhor capacitação para trabalhar nessa área, poderíamos desenvolver estágios curtos intercalados no curso e workshops com empresas. (Aluno 3, 2022)

Além disso, acredito que existe margem para uma colaboração muito maior entre empresas e universidades, com desenvolvimento de tecnologias disruptivas em conjunto, financiamento de projetos de pós-graduação e outros. (Egresso 8, 2022)

Nesse aspecto, pode se levantar como hipótese o fato de as Instituições de Ensino Superior não estarem desenvolvendo todas as competências previstas nas Diretrizes Curriculares ou de estarem realizando de forma descontextualizada, dificultando para o aluno utilizá-las de forma concomitante e prática durante a vida profissional.

Ressalta-se, ainda, que há uma série de competências relacionadas pelos entrevistados de caráter não técnico e julgadas essenciais na atuação do engenheiro contemporâneo, o que reforça as pesquisas realizadas anteriormente por Ferreira (1999), Salum (1999) e Nose e Rebelatto (2001), indicando que o engenheiro atualmente não deve dispor somente de grande conhecimento técnico para sua atuação, mas também conjugá-lo com competências não técnicas.

A contribuição do Egresso 15, durante a pesquisa, foi pragmática:

Eu fiz Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas potência e eu me deparei atualmente com o mercado que ele está um pouquinho diferente do que ele era antigamente e como os professores têm desenvolvido os temas em sala de aula. Porque, na minha formação, fui preparado para assuntos relativos à transmissão e distribuição de energia elétrica no setor elétrico, o setor elétrico no Brasil por muito tempo passou pela fase de expansão, só que atualmente com a questão do advento das energias renováveis precisa fazer uma modernização. Só que essa modernização exige que esse sistema seja operado de uma forma em que a operação manual, ela não cabe mais, então você precisa aplicar ali certas tecnologias que têm surgido. Como é que a gente não é preparado para usar nessa área, entendeu, igual por exemplo como que você vai operar uma rede elétrica que tem em fontes distribuídas que não tem nenhuma inércia e que uma hora está gerando uma certa potência outra hora está gerando outra e assim daí que surge aquele conceito de Smart Grid e redes inteligentes. Existe um grande desafio, porque hoje o mercado está passando por essa transformação só que em momento algum na minha graduação eu vi nada que me permitisse estar atuando nessa área de forma mais efetiva, então eu pessoalmente tive que ir em caça dos conhecimentos, entendeu, tive que pesquisar por fora. Eles oferecem a base né, a base ali fica, mas esse link de conhecimentos é construído no dia a dia da busca da informação, computação, internet das coisas e tal, é necessário ser feito depois porque a graduação não forneceu nada disso. (Egresso 15, 2022)

De um modo geral, observou-se que as competências requeridas foram lembradas, citadas ou estão diretamente relacionadas com as mencionadas pelos entrevistados como essenciais na atuação profissional do engenheiro contemporâneo inserido no contexto da Quarta Revolução Industrial. Vamos acompanhar a declaração do Egresso 13:

O termo indústria 4.0 foi criado para demonstrar a evolução tecnológica atual da nossa indústria. Sendo a indústria 1.0 a criação da mecanização, com indústria a vapor, força hidráulica. Na indústria 2.0 temos a chegada da eletricidade e da capacidade da produção em massa, exemplificada principalmente pela indústria automobilística. Com a indústria 3.0 temos a chegada da automação e computação. E na 4.0 os sistemas ganham capacidade de ultra computação, inteligência artificial e quebra de barreiras entre o mundo físico e digital. É importante entender que a Indústria 4.0 não é uma tecnologia em si. Ela é a união de diversas tecnologias que temos hoje em mãos e que, consolidadas, geram os resultados de digitalização e capacidade de tomada de decisão automatizada e sistêmica, do chão de fábrica, ao controle estoque à tomada decisão em marketing. Portanto, para mim a grande mudança é sair da automação pura do chão de fábrica e fazer com que o que acontece em nível micro no chão de fábrica, seja refletido nas decisões a nível CEO. E vice-versa. Ou seja, que o que é planejado pelo board estratégico da empresa chegue no chão de fábrica o mais rápido possível. Ou ainda, que as reações do consumidor ou do mercado se traduzam em ações de alteração de produto ou processo de forma rápida! Os grandes desafios para a formação em engenharia são envolvidos em acompanhar o rápido desenvolvimento dessas tecnologias. Sem a formação mais abrangente na academia, autonomamente somos obrigados a estudar e estar capacitados para uso de grande quantidade de dados para tomada de decisão. Além disso gerir equipes de novos engenheiros que entram no mercado com visão de especialista e menos capacidade de suportar problemas de interação pessoal. (Egresso 13, 2022)

As competências dos engenheiros não se dão somente por sua qualificação e conhecimentos adquiridos, mas principalmente pela capacidade de aplicação e de utilizar as ferramentas aprendidas. Polivalência, ambidestria, adaptabilidade, capacidade de gerenciar pessoas, liderança e, notoriamente, a capacidade de estar preparado para aprender e se atualizar em um ambiente em constante atualização desafiam a formação que não conduz à flexibilidade.

Organizando-se um pensamento comparativo com o referencial teórico desta pesquisa, precisamos elucidar como as respostas e análise do conteúdo oferecido pelos entrevistados contrastam e confirmam determinadas premissas e hipóteses. Encontramos notadamente nas respostas dos alunos e egressos que a aprendizagem é concebida como um processo de assimilação e captura de determinados conhecimentos, habilidades intelectuais e atitudes, passando por valores, organizados e orientados no processo de ensino (COSKUM, 2016).

Segundo Gil (1999), em um espaço destinado a aprendizagem, geralmente precisamos envolver amplamente os significados da aquisição de conhecimentos pela experiência ou atividade intelectual. Considerando a coleta de observações dos entrevistados, podemos traçar

o paralelo com Zarifian (2003) no aspecto da aquisição da capacidade para fazer, praticar ou empreender uma ação e do desenvolvimento da capacidade para exercer uma profissão.

Durante a condução das entrevistas semiestruturadas entre os alunos e egressos, observou-se que conforme visto anteriormente no trabalho de Coskum, Gençay e Kayicki (2016), o processo de aprendizagem no ambiente educacional é algo complexo, dependente de diversas variáveis para atingir um objetivo. Sempre é necessário que o professor tenha um preparação didático-pedagógica para que seja capaz de identificar a melhor forma de repassar determinadas atividades, pautando em verificar o perfil dos alunos que irão receber as instruções e direcionar o processo de acordo com perfil profissional do curso e seu conteúdo teórico, bem como, é preciso que a instituição de ensino forneça elementos que ajudem a propiciar uma atmosfera adequado para exerce uma efetiva relação entre ensino-aprendizagem.

Logo, o processo de aprender deve ser influenciado em congregação com o ambiente e pela forma que é planejado e o local utilizado. Quando se tem a necessidade de desenvolver competências, notadamente em nosso caso de estudo, a prática da engenharia, é necessário reformular o processo de aprendizagem para garantir o desenvolvimento de novas habilidades e, posteriormente, desenvolver a competência naquilo que é desejado no exercício da profissão.

Voltando-se, assim, mais especificamente para cursos de engenharia alvo desta pesquisa, tem-se que o processo de aprendizagem atual deve tornar-se o mais multidisciplinar possível, trazendo cada vez mais disciplinas de outras áreas, como a área de humanas, além de buscar novos desafios aos estudantes para vivenciar o novo modelo de mercado e conseguir lidar com as novas competências exigidas.

Neste sentido, surgem metodologias de ensino e aprendizagem que até antes da indústria 4.0 já eram especuladas. Podemos citar as metodologias ativas que forçam o estudante a sair da zona de conforto. A partir da coletânea e revisão das respostas de alunos e egressos identificou-se a necessidade de reunir diversos tipos de metodologias e traçar novos planos para garantir o processo de ensino-aprendizagem nos cursos de engenharia.

Os voluntários desse presente trabalho também ajudaram a identificar o papel do professor e do estudante, que são sujeitos essenciais para ocorrência do sucesso, já que em uma sala de aula existe três eixos: professor, conhecimento e aluno.

Os depoimentos obtidos e a conversa que evolui durante as entrevistas com os alunos e egressos, confirmaram que apesar da Indústria 4.0 possuir uma grande ênfase na digitalização, verifica-se que esse contexto exige, além de competências técnicas inerentes à engenharia, competências pessoais e sociais ligadas ao comportamento dos indivíduos e à forma como eles

se relacionam com os seus pares no ambiente de trabalho. Essas competências comportamentais também estão relacionadas com as características pessoais do profissional, podendo ser descobertas, desenvolvidas e aprimoradas ao longo de sua formação acadêmica e profissional.

Assim, liderar equipes multidisciplinares, lidar com problemas no ambiente de trabalho com inteligência emocional, bem como adaptar-se a mudanças são habilidades tão importantes quando as técnicas, porém menos tangíveis nos padrões educacionais do profissional de engenharia. As conversas com alunos e egressos realizadas para compor essa pesquisa confirmaram as considerações aqui abordadas.

Com base nessas informações, verificou-se que o mercado de trabalho do engenheiro, em um futuro próximo, não será estabelecido apenas por interações com máquinas inteligentes, mas também exigirá, com o mesmo grau de importância, uma base forte de habilidades sociais que contemplem a capacidade de liderar equipes, com raciocínio lógico e senso crítico, a partir de uma boa capacidade de comunicação.

Nota-se que os métodos de ensino-aprendizagem aplicados pelas instituições de ensino superior demandarão mudanças significativas e deverão acompanhar os ciclos de inovação trazidos pela Indústria 4.0. Em relação a essas mudanças, os voluntários da pesquisa mencionaram a necessidade de desenvolver a autonomia dos alunos através da flexibilização curricular. Esse cenário exige que padrões educacionais da engenharia propiciem um ambiente de aprendizagem que fortaleça o senso crítico dos alunos para lidar com problemas complexos, tomadas de decisões e negociações corporativas em ambientes competitivos engenharia gera complexos conhecimentos que são intermediários entre a ciência e o ofício.

Isso é primordial nesse processo podendo ser uma aliada através da construção de situações similares às da realidade da indústria. A maior parte de alunos e egressos confirmou que a atividade de engenharia é essencialmente multidisciplinar e o profissional deve possuir muitas habilidades além da técnica como a capacidade de trabalhar em equipe, a comunicação, a argumentação, a conciliação, a abstração e a empatia sendo capaz de se colocar no lugar do outro. A educação assume dessa forma uma grande responsabilidade, cabendo a ela então a missão de formar esse profissional.

Conseguimos assim retomar a um de nossos autores fundamentais neste texto, Zarifian (2012), para quem a solução de problemas com certo grau de complexidade dificilmente pode ser dada de forma individual. Nesse aspecto, a atuação em conjunto (a mobilização da rede de atores) requer que todos os envolvidos compartilhem o objetivo proposto e que sejam corresponsáveis pelas ações a serem tomadas, o que, por vezes, não ocorre, em função da

segmentação da empresa em vários setores, com tarefas interligadas, mas com objetivos distintos (ZARIFIAN, 2012).

Com base nas definições apresentadas, conclui-se que, de forma geral, a noção de competência está centrada no indivíduo, pois depende de suas ações, frente a uma dada situação, e do seu conhecimento ou saber, a ser utilizado como elemento balizador para sua tomada de decisão, de forma a ter o resultado desejado ou esperado. Le Boterf (2003) conceitua a competência a partir de três dimensões, a saber:

- a) a dimensão dos recursos disponíveis, que se refere aos recursos que o indivíduo pode mobilizar para sua ação;
- b) a dimensão das ações e dos resultados, que constitui a ação propriamente dita e seus resultados;
- c) a dimensão da reflexividade, que se constitui no distanciamento do indivíduo das dimensões anteriores, permitindo a análise das práticas adotadas e seu aprendizado, a partir da reflexão.

Em relação aos recursos que podem ser mobilizados, Le Boterf (2003) indica que podem ser oriundos dos recursos pessoais do indivíduo, como conhecimentos, saber-fazer, capacidades cognitivas, entre outros, e recursos oriundos do contexto em que ele se encontra, como redes de operações, competências de colegas, base de dados, por exemplo. As ações e resultados, por sua vez, traduzem o saber agir de forma pertinente em relação à situação, acontecimento ou problema apresentado, com base nos recursos mobilizados.

Observa-se que a noção de competência está associada a elementos, como o trabalho em grupo, a comunicação, a responsabilidade e a ética, uma vez que o aumento da complexidade das situações vividas pelo indivíduo, na maioria das vezes, impossibilita que ele atue de forma isolada, sendo necessária, para alcançar seus objetivos, a atuação em equipe.

Outro ponto relevante que conseguimos destacar na pesquisa com os entrevistados é a percepção e definição de competência. Ficou clara a noção que o indivíduo deve buscar o aprendizado e o conhecimento oriundos das situações singulares com as quais se depara, aumentando o seu repertório de saber e ações para situações futuras que irá enfrentar.

Autores, como Le Boterf (2003) e Zarifian (2003), apresentam definições de competência segundo a concepção francesa, em que o modelo de competência tem por objetivo romper com a lógica taylorista e propor uma nova forma de organização do trabalho, com o foco no indivíduo.

Os resultados obtidos na pesquisa com os engenheiros apontam para a necessidade crescente da flexibilização e ampliação curricular dos cursos de engenharia. Alunos e egressos indicaram a introdução nos currículos das atividades práticas complementares como o instrumento de mudança de formação para o ensino de engenharia que favoreçam a assimilação dos conteúdos teóricos no campo de aplicação com atuação ampla, criativa, eficiente e participativa no desenvolvimento de habilidades para a identificação dos problemas e situações de engenharia, mais focada na indústria, e das competências para as soluções desses problemas, confirmando a hipótese permeada pelos autores aqui utilizados.

Considera-se importante comentar que foi observado como alguns dos cursos de engenharia incentivam a realização de disciplinas em outras áreas de conhecimento dentro da instituição. Segundo Tonini (2020), quando o aluno consegue transitar em outros departamentos, por exemplo, de áreas sociais, humanas, gerenciais ou de direito, provavelmente ele terá uma formação diferenciada em seu currículo e, com isso, maiores e até melhores oportunidades no mundo do trabalho.

Ainda devemos trazer uma reflexão sobre a conjunção entre a tríade de ensino, pesquisa e extensão, e a sua relevância para o processo de conhecimento do aluno em engenharia, pois propicia e intensifica a relação entre teoria e prática, entre discentes e docentes, compromissos sociais, ambientais e éticos e desenvolvimento de novas tecnologias. Em suma, os egressos dos cursos de engenharia devem estar identificados, no campo da ciência e da tecnologia, como profissionais qualificados. Orientando-se pelos estudos de Tonini (2020), encontramos relações com o resultado deste trabalho, confirmando que que em mundo progressivamente tecnológico, o desempenho de atividades técnicas requer dos formandos uma adequada preparação intelectual que lhes permita tomar decisões fundamentadas para resolver problemas e decodificar e interpretar coerentemente instruções e orientações.

Os agentes de nossa pesquisa, aluno e egressos identificaram que a falta dessa preparação intelectual trará maiores dificuldades para os engenheiros no acesso a boas oportunidades de trabalho na indústria atual e futura. Percebeu-se também a preocupação com o acompanhamento dos egressos dos cursos, suas colocações nos postos de trabalho e suas posturas profissionais no ambiente de trabalho onde, além de máquinas, tem-se seres humanos com sentimentos e limites para desenvolver, com qualidade, suas tarefas. Sem dúvida, elas serão bem gerenciadas por engenheiros que tenham, além de formação técnica, a formação humanista para saber lidar com as diferentes situações no cotidiano do ambiente de trabalho (TONINI, 2020).

De acordo com Zarifian (2003), para que o indivíduo manifeste suas competências, ele precisa estar motivado: essa motivação é relativa ao indivíduo, à sua personalidade, existem razões profundas e próprias de cada um para se sentir motivado e empenhado em uma escola ou ambiente de trabalho.

Notamos entre as declarações dos entrevistados que existe uma confluência de valores entre o indivíduo e a empresa. O indivíduo também estará motivado quando perceber que a mobilização de suas competências concorre para o desenvolvimento de seus projetos e perspectivas pessoais, além da percepção da utilidade de seu trabalho, que também é algo motivador para o indivíduo. (ZARIFIAN, 2003)

A maneira de aprender, que foi parte do conteúdo do questionário aplicado nessa pesquisa, também apresenta uma perspectiva da aprendizagem do ponto de vista da gestão organizacional. Para Zarifian, (2003), é necessário que a empresa tenha uma organização qualificante, que promova a aprendizagem profissional. A empresa precisa reconhecer a importância desse aprendizado e privilegiá-lo, com simplicidade e transparência na comunicação.

Essa aprendizagem pode se relacionar com a aquisição de rotinas e hábitos de trabalho, com o saber tácito, aprendido com o contato com as situações de trabalho, mas também com a instabilidade e a capacidade de evolução nas situações (ZARIFIAN, 2003). Esta última tem relação direta com a lógica da competência e com o funcionamento de escolas e empresas.

Para Zarifian (2003) mediante a complexidade das situações, um único indivíduo não será capaz de solucionar um evento sozinho, precisa-se, portanto, da confluência das competências de vários indivíduos. Le Boterf (2003) argumenta que o trabalhador deve ter consciência que não sabe de tudo e além de mobilizar seus próprios saberes na hora certa, ele também deve promover a mobilização de saberes de uma rede de profissionais. Ou nas palavras de Zarifian (2003, p.74), “mobilizar redes de atores em torno das mesmas situações”.

Esse trabalho conjunto, ou em equipe, remete à competência coletiva, embora esta seja mais que a soma de competências individuais. Para que a competência coletiva se manifeste, é preciso que os membros da equipe construam referenciais comuns e entendam a necessidade de cooperação (ZARIFIAN, 2003).

De acordo com Zarifian (2003), grande parte das operações automáticas, antes exercidas por trabalhadores, hoje foram absorvidas pela automação, a atividade humana se reposiciona resolvendo eventos. “Entende-se aqui por evento, o que ocorre de maneira parcialmente imprevista, inesperada.” (ZARIFIAN, 2003, p.41)

O evento pode estar diretamente associado à produção, como panes, mudanças na programação de produção para atender um cliente e desvio de qualidade, ou pode também estar associado à necessidade de inovação (ZARIFIAN, 2003). Ainda segundo Zarifian (2003), a noção de evento retoma o trabalho ao trabalhador, pois diante do evento não existe ação pré-determinada capaz de solucioná-lo. É o trabalhador que agirá de maneira própria diante do evento, o que exige do trabalhador iniciativa e trabalho coletivo, visto que muitas vezes a complexidade do evento ultrapassa as capacidades de um único indivíduo.

Conseguimos observar a noção, entre os indivíduos entrevistados, que tomar iniciativa se refere a começar uma ação que seja capaz de mudar algo existente. A iniciativa pode ser baseada na escolha de uma ação adequada, frente a um repertório de possibilidades, ou na invenção de uma resposta adequada. Essa invenção não é absoluta, ela mobiliza conhecimentos preexistentes do indivíduo. (ZARIFIAN, 2003).

Entretanto, para que o indivíduo tome a iniciativa e apresente soluções em um determinado evento, ele precisa de autonomia e, junto com autonomia, vem à responsabilidade, esta é a contrapartida daquela. O trabalhador deve ser capaz de responder pelas consequências de suas ações. Conforme nossa análise das entrevistas dessa pesquisa, em um ambiente empresarial, mais especificamente na indústria moderna, essa responsabilidade se relaciona com prazos, qualidade, satisfação do cliente e rentabilidade.

O tomar iniciativa de Zarifian (2003) se assemelha ao saber agir em determinada situação, proposto por Le Boterf (2003). Este segundo autor argumenta que possuir saberes e capacidades não significa ser um profissional competente, é preciso instrumentalizar esses saberes e competências no momento oportuno. O resultado obtido em nossa pesquisa com alunos e egressos constatou que o saber agir é diferente do saber fazer, vai além, pois implica ação em um acontecimento imprevisto e muitas vezes urgente. O saber agir não é só saber tratar um incidente, mas também prevê-lo e aprender com ele.

Tem-se então que, tanto o tomar iniciativa da definição de Zarifian (2003), quanto o saber agir em situação de Le Boterf (2003), convergem para o entendimento de que a competência só se manifesta na prática, situação notadamente observada em nossa pesquisa, nosso referencial teórico e confirmada pelas entrevistas semiestruturadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devemos considerar, em modo maduro e concreto, a aptidão do Brasil em se tornar aplicador de soluções de ponta e considerar, em modo maduro e concreto, a vocação do Brasil em se tornar aplicador de soluções de ponta, ainda que, em sua pluralidade, essas soluções sejam trazidas ao nosso ambiente e não germinadas em nosso meio de conhecimento. Portanto, espera-se desenvolver aqui a capacidade de aplicabilidade de tecnologias e associar a nossa imensa capacidade de criar e de navegar em cenários flexíveis à criação de um robusto alicerce, necessário e primordial para a manutenção e criação de empregos em nossa economia, o que, desse modo, promoveria o alcance de uma condição de competição global.

Trabalharemos em nossa melhor competência e não buscando copiar e desafiar o que se desenvolve em outros países, evitando a competição direta com polos internacionais de avançado grau de maturidade em geração de tecnologias. É digno e justo aceitar e encarar a missão de Engenharia de Aplicação que nosso povo e nossas condições culturais oferecem. Nesse contexto, devemos ressaltar a tríade do ensino superior, que perpassa pelo Ensino, pela Pesquisa e pela Extensão, como um princípio indissociável da educação das escolas brasileiras. A formação desta mão de obra deve ser adequada ao modo de ser profissional que estamos anunciando para encarar o desafio de empregabilidade no Brasil.

O conceito de competência precisa ganhar mais espaço no mundo do trabalho e no mundo acadêmico, são necessárias constantes alterações na formação e no modo de atuação dos engenheiros. Considerando as atuais formas de organização do trabalho, com o modelo de competência sendo abraçado em menor ou maior grau de alcance, aliadas à mobilidade profissional acelerada e facilitada pela globalização, as Instituições de Ensino Superior vêm sendo pressionadas a adotar e a desenvolver competências em seus alunos, de maneira a manter a sintonia com a sociedade e com o mundo do trabalho, permitindo o acesso e o desenvolvimento dos seus egressos no novo cenário mundial.

Estudando detalhadamente os depoimentos dos alunos e egressos dos cursos de Engenharia do estado de Minas Gerais, retornamos para a questão de pesquisa: quais são as competências básicas para a atuação de engenheiros na Indústria 4.0? Notadamente, as competências e habilidades demandadas no mundo do trabalho e na área acadêmica precisam ser complementares, a formação exigida e aplicada por esses engenheiros no ambiente de trabalho é multidisciplinar; para além do currículo de engenharia, ressaltamos a necessidade de se saber lidar e gerir pessoas, organizar projetos, cuidar de processos e, deliberadamente, dentro

do foco desta pesquisa, dialogar com tecnologias de ponta. A principal capacidade que um profissional engenheiro deve demonstrar, nesse cenário, é a sua capacidade de aprender.

Começamos por um ponto básico, exposto de maneira clara e direta nessa questão. A escola é constituída pela sociedade e deve, portanto, em sua gênese, exercer papel de base na construção de uma sociedade melhor, ensinar e ensinar a aprender. Entra aí a importante função da educação, ela deve ser medida pelo resultado das ações que envolvem a plena afinidade entre os diferentes atores sociais e econômicos nesse campo.

Recapitulando os objetivos propostos neste trabalho, considera-se que foram atingidos na presente dissertação. Em relação ao objetivo geral, que consistiu em analisar, junto aos alunos de engenharia e profissionais atuantes em empresas de Minas Gerais, as competências necessárias ao engenheiro contemporâneo para sua atuação no âmbito da Indústria 4.0, verificou-se as principais competências que deveriam participar efetivamente na formação tecnológica dos profissionais, com foco no alinhamento às necessidades do mercado. Ademais, verificou-se, objetivamente, a necessidade de diminuição de desarmonia entre a academia e o tempo da nova revolução industrial. Foi possível, por meio das entrevistas efetuadas, realizar a análise proposta, detectando quais competências esses profissionais julgam necessárias, além de apurar quais foram desenvolvidas durante a graduação e quais foram desenvolvidas posteriormente, no percurso de trabalho nas indústrias em que atuam os egressos engenheiros.

Em relação aos objetivos específicos, também se considerou que foram alcançados, uma vez que foi possível identificar e registrar na pesquisa as boas práticas na educação tecnológica e de extensão universitária, conectadas às competências necessárias à atuação profissional do engenheiro contemporâneo. Através da visão dos alunos e dos profissionais, listou-se algumas premissas para as competências identificadas e foi possível compará-las com as necessidades de atuação na indústria moderna, notadamente no ambiente da Quarta Revolução Industrial.

Durante as entrevistas, observou-se que os saberes devem nascer nas universidades e escolas de ensino superior e, posteriormente, devem ser completados pela experiência profissional. É com a formação de novos profissionais que se monta a estrutura de um país e, a partir daí, podemos ampliar o seu horizonte para a sociedade e população em geral. Uma população que não reconhece ter uma certa necessidade – o que, nesta proposição abordada nesta pesquisa significa desenvolver e aplicar conhecimentos para poder almejar um futuro probo para a nação –, não saberá dar valor a uma ação de alto ganho adicionado, como a engenharia e suas aplicações.

A partir da condução e análise do conteúdo das entrevistas desenvolvidas nesta pesquisa, observa-se que o futuro tem uma chance de sucesso. A amostra de entrevistados confirmou que a sociedade brasileira é muito extensa e diversa. Temos em nosso país uma riqueza nas pessoas que é praticamente inigualável e muitas vezes invejada lá fora. A formação do Brasil, originada da miscigenação entre vários imigrantes e a população nativa, a nossa capacidade de aceitar outras tradições e a exposição do país por meio de nossa cultura e grandeza econômica devem ser no mínimo respeitadas. Temos indivíduos fortes e batalhadores, precisamos então criar um caminho de desenvolvimento para essas pessoas, permitindo, ou no mínimo almejando, a empregabilidade plena.

Entretanto, um fato alarmante que foi observado nas falas dos entrevistados se refere à alta evasão dos alunos dos cursos de Engenharia nas escolas de Minas Gerais. Como esse tema não era objeto de pesquisa, apenas relatamos, através da coleta de dados e declarações dos alunos e egressos, que cerca de metade dos ingressantes no primeiro ano dos cursos de Engenharia não completam o percurso até a graduação. Nos últimos anos tivemos vários avanços e a inclusão de muitas pessoas em novos mercados e no acesso à informação. Falta ainda um passo a se concretizar, o uso real da nossa capacidade de utilizar o desenvolvimento tecnológico e a sua aplicabilidade na sociedade. Deve-se, portanto, observar o fenômeno da evasão acadêmica com mais atenção.

Desenvolvimento é a palavra-chave, pois mesmo tecnologias já dominadas e estabelecidas devem ser parte do contexto. Temos que ser capazes de conhecer e reconhecer as melhores práticas já disponíveis no universo do conhecimento humano e trazê-las de modo adaptado à nossa sociedade. Nossos profissionais precisam ampliar e estender os conhecimentos básicos adquiridos na graduação de modo a serem capazes de influenciar as decisões que definem o caminho para o futuro. Na aplicação dos questionários foi possível identificar a carência de aplicar conceitos durante o curso de Engenharia, ou seja, de praticar antes de finalizar o curso. Ficou notório que as empresas recebem e treinam seus profissionais porque não encontram egressos com as competências necessárias para a atuação profissional. Encontrar soluções em conjunto – academia e indústria – é o conceito-chave.

A sociedade, por sua parte, tem que confiar na capacidade de avaliação e julgamento da academia quando à solução encontrada. Um bom profissional precisa reconhecer que nem todo o conhecimento disponível ou que possa ser desenvolvido é válido, preciso ou adequado à aplicação na sua realidade. A produção tecnológica e a aplicação de soluções devem ser robustas e confiáveis. Portanto, é necessário preparar bem um profissional para que ele possa

ter as condições de exercer esse julgamento, e não simplesmente copiar ou repetir uma rotina. Inovação de valor é o conceito que deve nortear o desenvolvimento.

As ações de extensão tecnológica nas escolas precisam também ser difundidas, os congressos, feiras tecnológicas e fóruns de discussão precisam ser aproveitados como canais de comunicação e fomento. Esse é seguramente um caminho para aproximar a academia e a sociedade. A grande parte dos alunos e egressos entrevistados demonstrou seu interesse e vontade de continuar estudando e completar a formação acadêmica por meio de cursos extracurriculares. Notou-se a determinação dos atuais e futuros engenheiros em buscar conhecimento, mesmo em modo autodidata, por curiosidade, para estar atualizado e mesmo para ampliar suas oportunidades de uma carreira promissora.

O tema é amplo e deve ser atraente para empresas e empresários. Podem ser discutidos assuntos que avaliem e utilizem as capacidades de organização, de desenvolvimento dos recursos humanos, de gestão empresarial e, principalmente, de manufatura e produção, sempre focados na realidade empresarial brasileira. A academia precisa também contribuir com um corpo técnico especializado, profissionais qualificados no uso de técnicas empresariais, como negociação, diagnóstico e proposição de ações; a linguagem da empresa deve ser compreendida pelo mundo acadêmico.

A sociedade empresarial demanda resultados, práticos e rápidos, então a academia deve também ser competente para orientar as empresas sobre a existência dos mecanismos de investimento para fins de atualização tecnológica e de gestão empresarial, ao mesmo tempo em que participa no desenvolvimento de instrumentos de apoio ao fomento de atividades de inovação tecnológica.

Não podemos esquecer que a relação transformadora entre academia e sociedade só será plena se for abrangente, com aplicação específica de metodologias em diversos segmentos e níveis de empresas. As necessidades e capacidade de colaboração devem ser avaliadas de maneiras diversas e adequadas para micro, pequenas e médias empresas; entretanto, o resultado e objetivo primordial devem ser mantidos: obter resultados e melhorias de competitividade que possibilitem a participação competitiva e lucrativa nos mercados locais, regionais, nacional e internacional.

A força de um país está em sua capacidade de criar um diferencial. Sabemos que existem várias formas de medir a riqueza de uma nação, como os recursos naturais, eles estão ali disponíveis para a exploração econômica, mas acreditamos que será mais competente aquele que dominar as soluções para o melhor aproveitamento desses recursos.

O Brasil tem uma indústria pujante, com grande capacidade e muito abrangente, porém é claro para nós envolvidos no desenvolvimento dos estudos desta pesquisa que o país é e será sempre relativamente dependente de profissionais competentes para suportar esse sistema. A chegada de tecnologias modernas, dentro do espectro da Indústria 4.0, levanta bandeiras novas, sobre como a flexibilidade na formação em engenharia pode preparar um forte técnico para o mercado. Precisamos encontrar desenvolvimento técnico em outros campos do conhecimento, notoriamente no caminho da aplicação de soluções inéditas, tecnologias sociais, habilidades que podem ser aplicadas em indústrias, empresas e até mesmo nas cidades, para melhorar o transporte, reduzir o consumo de energia e aumentar a segurança, por exemplo.

Ainda, faz-se necessário desenvolver e disseminar conceitos como o de estradas inteligentes, sistemas de comunicação confiáveis, metodologia de ensino, sistemas de catalogação de recursos e espécies da natureza, métodos mais eficazes em tratamento de doenças. Tudo pode ser coberto por novas formas de aplicar produtos disponíveis e podemos sempre usar as nossas universidades e escolas como berço dessa formação em aplicação de tecnologia.

Temos em nosso país leis muito interessantes do ponto de vista do desenvolvimento de conhecimento em tecnologia, como a Lei do Bem, ou mesmo a que rege o sistema PPB (Processo Produtivo Básico), entretanto são ainda pouco exploradas em seu contexto completo. A legislação vigente estimula a pesquisa e o desenvolvimento no Brasil, e até mesmo a transferência de tecnologia, que é o caso do regime de PPB; porém, ainda há espaço para ampliar sua aplicação e também para conscientizar o empresariado nacional sobre aderir a essas iniciativas. Incentivos fiscais estão disponíveis para o setor produtivo explorar e obter retorno, principalmente quando dedicado a desenvolver seriamente atividades em inovação.

Todavia, nada do que analisamos até agora neste texto será completo e explorado em sua total plenitude sem a conquista de resultados práticos, reais e alinhados com a necessidade da sociedade brasileira. A Indústria Avançada é uma realidade, não um idealismo futurístico. A realidade atual pode ao mesmo tempo se apresentar como uma oportunidade gigante ou trazer o risco de deixar o Brasil, e sua indústria, à margem do desenvolvimento mundial e, na alternativa de cenário negativo, a disponibilidade de empregos de valor agregado desaparece.

Caso o nosso país não explore a sua vocação no contexto da nova Indústria 4.0, os empregos que a economia conseguirá disponibilizar serão de baixo nível; estaremos confinados na condição de seguidores e operadores sob o comando das grandes nações. Não ansiando esse

futuro para todos os brasileiros, mas sim desejando demonstrar ao globo nossa capacidade de encontrar soluções e de construir uma sociedade com profissionais de alto valor e reconhecimento, torna-se mandatório convidar o setor industrial para “dançar a mesma música”.

O setor produtivo muitas vezes ignora a necessidade de desenvolvimento, mantendo-se fiel a tradições e mesmices que “sempre deram certo”. Porém, é só por intermédio da discussão e da abordagem dos desafios do futuro que conseguiremos encontrar o método, a forma ideal e o traço de criatividade para se aplicar, em larga escala, uma nova tecnologia, melhorar um produto, torná-lo mais seguro e/ou mais competitivo. Faz parte também da responsabilidade da indústria encontrar métodos mais eficazes, menos insalubres e mais modernos para as suas linhas de produção, e isso pode e deve ser alcançado por meio da aplicação da inovação tecnológica.

Defendemos que o melhor caminho para a construção de uma nação forte é o do conhecimento. O Brasil se encontra em um ambiente em que a capacidade de integração, compartilhamento e flexibilidade são inerentes ao seu povo. Somos seres sociais e somos melhores nisso do que muitas outras nações. Partindo daí, enxergamos que a educação de base compõe juntamente com a educação superior a formação do indivíduo e do profissional.

A empresa e o ambiente econômico devem, então, permitir que esses profissionais desenvolvam soluções inovadoras e que tragam retorno prático para a sociedade. O funcionamento adequado deste sistema simbiótico proporcionará o emprego: teremos empregos de qualidade e profissionais competentes. Somos culturalmente criativos e carregamos uma forte bagagem dos povos que ajudaram a formar este país e essa é uma riqueza sem precedentes no globo.

Ainda no que se refere a estudos futuros, sugere-se:

- a) O estudo sobre o conceito de competência aplicado na elaboração da grade dos cursos de Engenharia e a seu aproveitamento em casos práticos, estágios, programas estudantis, durante o desenvolver do curso.
- b) Motivação, causas e efeitos da evasão escolar nos cursos de Engenharia nas faculdades e universidades de Minas Gerais.
- c) Análise, junto aos docentes, do conceito de como ensinar a aprender, preparando os alunos para consumir conteúdo extraclasse, e investigar como incorporar estratégias didáticas nas disciplinas dos cursos por eles ministrados.

Temos que aproveitar a nossa capacidade inventiva e a força da nossa população para cunhar mentes inovadoras e fortalecer o conhecimento tecnológico da sociedade brasileira, por meio de ideias próprias e patriotas.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, L. Could the CEO be replaced by a robot? **World Economic Forum**, Global Agenda, 13 jan. 2017. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/01/could-the-ceo-be-replaced-by-a-robot/>. Acesso em: 19 set. 2020.

ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. 2 ed. São Paulo: Pioneira, 1999.

ANDREWS, K. **The concept of Corporate Strategy**. Homewood, IL: Richard D. Irwin, Inc., 1980.

ARK, B. V.; ERUMBAN, A. Productivity Brief 2015. **The conference board**. Disponível em: <http://www.conference-board.org/retrievefile.cfm?filename=The-Conference-Board-2015-Productivity-Brief.pdf&Type=subsite>. Acesso em: 24 ago. 2020.

ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor**. 6^a. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.

AZEVEDO, A.; APFELTHALER, G.; HURST, D. Competency development in business graduates: an industry-driven approach for examining the alignment of undergraduate business education with industry requirement, **The International Journal of Management Education**, Editora Elsevier, n. 10, p. 12-28, 2012.

BANCO MUNDIAL. **Aprendizagem para todos**. Investir nos conhecimentos e competências das pessoas para promover o desenvolvimento. Washington, D.C.: Banco Mundial, 2011. Disponível em: http://siteresources.worldbank.org/EDUCATION/Resources/ESSU/463292-1306181142935/Portuguese_Exec_Summary_ESS2020_FINAL.pdf. Acesso em: 22 out. 2020.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. Industry 4.0 innovation ecosystems: an evolutionary perspective on value cocreation. **International Journal of Production Economics**, v. 228, n. July 2019, 2020.

BERMAN, S. J. Digital transformation: opportunities to create new business models. **Strategy & Leadership**, v. 40, n. 2, p. 16-24, 2012. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/108785712112093144>>. Acesso em: 10 set. 2020.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil**, 2017. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/estudos/chamada-publica-internet-coisas/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>. Acesso em: 2 ago. 2020.

BOYATZIS, R. E. **The competent manager**. New York: John Wiley & Sons, 1982. Disponível em <<http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.b4906221;view=1up;seq=57>>. Acessado em 20/01/2021.

BRASIL. Conselho Nacional De Educação. **Resolução CNE/CES 11/2002**, aprovada em 11 de março de 2002. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União. Brasília/DF, 25 de fevereiro de 2002. Seção 1, p. 17.

BRIGHAM, E. F.; HOUSTON, J. F. **Fundamentos da Moderna Administração Financeira**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1999.

BRITO, A.V. Introdução à Arquitetura de Computadores. **Portal Virtual UFPB**, Livros, (s.d.). Disponível em: <http://producao.virtual.ufpb.br/books/edusantana/introducao-a-arquitetura-de-computadores-livro/livro/livro.chunked/ch01s07.html>. Acesso em: 29 set. 2020.

BRITO, S. et al. **Automação & Sociedade: Quarta Revolução Industrial, um olhar para o Brasil**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Brasport, 2018.

BROM, L. G.; AGUIAR, T. **Educação, mito e ficção**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

BROWN, T. **Design Thinking**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

BROWN, D. Here's what 'fail fast' really means. **Venture Beat-VB**, Entrepreneur, 15 mar. 2015. Disponível em: <https://venturebeat.com/2015/03/15/heres-what-fail-fast-really-means/>. Acesso em: 15 set. 2020.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **Machine, Platform, Crowd: Harnessing our Digital Future**. New York: W. W. Norton & Company, 2017.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **Race against the machine: How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy**. Lexington, MA.: Digital frontier Press, 2011.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future**. New York: W. W. Norton & Company, 2020.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **The second machine age**. Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. New York: W. W. Norton & Company, 2014.

BUCHEN, E.; DEPASQUALE, D. **2014 Nano/Microsatellite Market Assessment**. Atlanta, GA: SpaceWorksEnterprises Inc. (SEI), 2014. Disponível em: www.sei.aero/eng/papers/uploads/archive/SpaceWorks_Nano_Microsatellite_Market_Assessment_January_2014.pdf. Acesso em: 7 mar. 2021.

CARRINGTON, D. From liquid air to supercapacitors, energy storage is finally poised for a breakthrough. **The Guardian, Environment, Energy**, 4 fev. 2016. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2016/feb/04/from-liquid-air-to-supercapacitors-energy-storage-is-finally-poised-for-a-breakthrough>. Acesso em: 16 set. 2020.

CASTELLS, M. The impact of the internet on society: a global perspective. **MIT Technology Review**, View from the Marketplace, 8 set. 2014. Disponível em: <http://www.technologyreview.com/view/530566/the-impact-of-the-internet-on-society-a-global-perspective/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

CHA, E. U. Watson's Next Feat? Taking on Cancer, **The Washington Post**, 27 jun. 2015. Disponível em: <http://www.washingtonpost.com/sf/national/2015/06/27/watsons-next-feat-taking-on-cancer/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

CHRISTENSEN, C. M.; RAYNOR, M. E.; MCDONALD, R. Disruptive innovation. **Harvard Business Review**, v. 93, n. 12, p. 44-53, 2015.

CHRITAKIS, D. A. et al. Early Television Exposure and Subsequent Attentional Problems in Children. **Pediatrics**, v. 113, n. 4, Apr., p. 708-713, 2004,

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem Especial 66**. Ano 17, v. 2, abr. 2016. Disponível em: https://static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/e0/aa/e0aabd52-53ee-4fd8-82ba-9a0ffd192db8/sondespecial_industria40_abril2016.pdf/. Acesso em: 21 set. 2020.

COSKUM, S.; GENÇAY, E.; KAYICKI, Y. Adapting Engineering Education to Industry 4.0 Vision. **Technologies**, v. 7, n. 10. Turkish-German University Scientific Research Projects Commission, 2016.

CRABTEE, G. Perspective: The energy-storage revolution. **Nature**, Outlook, vol. 526/7575, p. 92, 28 out. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/526S92a>. Acesso em: 16 set. 2020.

CUNHA, C. Tecnologia: o que é a 4ª revolução industrial? **UOL**, Vestibular, Resumo das disciplinas, Atualidades, 24 abr. 2017. Disponível em: <https://vestibular.uol.com.br/resumo-das-disciplinas/atualidades/tecnologia-o-que-e-a-4-revolucao-industrial.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em: 10 set. 2020.

DARIUSZ, P. **New information technologies in production enterprises**. Advanced - industrial engineering, Industry 4.0, Bielsko-Biała, p. 7-20, 2016.

DE LORENZO, V.; DANCHIN, A. Synthetic biology: discovering new worlds and new words. **EMBO Reports**, v. 9, p. 822-827, 22 ago. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/embor.2008.159>. Acesso em: 16 set. 2020.

DELONG, J. B. Making do with more. **Project Syndicate**, 26 fev. 2015. Disponível em: <http://project-syndicate.org/commentary/abundance-without-living-standarts-growth-by-j--bradfort-delong-2015-02>. Acesso em: 24 ago. 2020.

DELORS, J. (Coord.) **Educação: um tesouro a descobrir: relatório para a UNESCO da Comissão Internacional sobre Educação para o século XXI**. 4. ed. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO: MEC, 2000.

DIAMANDIS, P. H.; KOTLER, S. **Bold**. How to go big, create wealth, and impact the world. New York: Simon & Schuster Paperbacks, 2015.

DICKSON, B. 3 ways artificial intelligence is changing the finance industry. **The Cointelegraph**, 18 ago. 2017. Disponível em: <https://cointelegraph.com/news/3-ways-artificial-intelligence-is-changing-the-finance-industry>. Acesso em: 19 set. 2020.

DUTTA, S.; GEIGER, T.; LANVIN, B. Global Information Technology Report, 2015: ICTs for Inclusive Growth, **World Economic Forum**, 2015. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_IT_Report_2015.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EUROPEAN COMMISSION. The EU Framework Programme for Research and Innovation. **Horizon 2020**, 2013. Disponível em: <http://mri.ait.ie/funding-opportunity/eu-framework-programme-research-innovation-horizon-2020/>. Acesso em: 16 set. 2020.

EUROPEAN COMMISSION. European Commission "Global Trends to 2030": Foresight Fiches 2014. **European Commission**, Strategy, Digital Single Market, Publications, Reports and Studies, 13 abr. 2015. Disponível em: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/european-commission-foresight-fiches-global-trends-2030>. Acesso em: 16 set. 2020.

ERNST & YOUNG. Eight megatrends driving disruption. **Portal EY**, Digital, set. 2017a. Disponível em: <https://betterworkingworld.ey.com/digital/8-megatrends-driving-disruption>. Acesso em 24 set. 2020.

ERNST & YOUNG. How can future workforces bloom through STEM? **Portal EY**, Purpose, set. 2017. Disponível em: <https://betterworkingworld.ey.com/purpose/how-can-future-workforces-bloom-through-stem>. Acesso em 24 set. 2020.

ERNST & YOUNG. O seu negócio está pronto para um mundo digital? **Portal EY**, set. 2017c. Disponível em: <http://www.ey.com.br/br/pt/issues/eydigital>. Acesso em: 24 set. 2020.

EXPERTS EXCHANGE. Processing power compared. Visualizing a 1 trillion- fold increase in computing performance. **Experts Exchange**. 2017. Disponível em: <http://pages.experts-exchange.com/processing-power-compared>. Acesso em: 23 ago. 2020.

EZELL, S.; ATKINSON, R. D. The middle kingdom Galapagos Island syndrome: the cul-de-sac of Chinese technology standards. **Information Technology and Innovation Foundation (ITIF)**, 15 dez. 2014. Disponível em: <http://www.itif.org/publications/2014/12/15/middle-kingdom-galapagos-island-syndrome-cul-de-sac-chinese-technology>. Acesso em: 24 ago. 2020.

FERREIRA, R. S. Tendências curriculares na formação do engenheiro do Ano 2000. In: VON LINSINGEN, I. et al. (Orgs.). **Formação do engenheiro: desafios da atuação docente, tendências curriculares e questões da organização tecnológica**. Florianópolis: EDUFSC, 1999.

FLEURYI, A.; FLEURY, M. T. L. **Estratégias empresariais e formação de competências**. São Paulo: Atlas, 2000.

FOSTER, J.G.; RZHETSKY, A.; EVANS, J.A. 'Tradition as Innovation in Scientists' Research Strategies', **American Sociological Review**, v. 80, p. 875-908, out. 2015. Disponível em: <http://www.knowledgelab.org/docs/1302.6906.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2020.

FREY, B. C.; OSBORNE, M. A. **The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?** 17 set. 2013. Disponível em: http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf. Acesso em: 10 set. 2017.

GESI. Global e-Sustainability Initiative and The Boston Consulting Group, Inc., GeSISMARTer2020: the role of ICT in driving a sustainable future. **Global Sustainability Initiative**. 2012. Disponível em: <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/SMARTer%202020%20-%20The%20Role%20of%20ICT%20in%20Driving%20a%20Sustainable%20Future.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2020.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas - RAE**, v. 35, n. 2, mar./abr., 1995.

GOLDBERG, E. Facebook, Google are saving refugees and migrants from traffickers. **Huffington Post**, Impact, 9 out. 2015. Disponível em: http://www.huffingtonpost.com/entry/facebook-google-maps-refugeesmigrants_55flaca8e4b03784e2783ea4. Acesso em: 24 ago. 2020.

GOODWIN, T. In the age of disintermediation the battle is all for the consumer interface. **TechCrunch**, mar. 2015. Disponível em: <http://techcrunch.com/2015/03/03/in-the-age-of-disintermediation-the-battle-is-all-for-the-customer-interface/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

HARARI, Y. N. **Sapiens: uma breve história da humanidade**. L&PM, 2015.

HELBING, D. Societal, economic, ethical and legal challenges of the digital revolution: From big data to deep learning, artificial intelligence, and manipulative technologies. **SSRN (Social Science Research Network)**. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2594352>. Acesso em: 30 set. 2020.

HOYER, C.; GUNAWAN, I.; REAICHE, C. H. **The Implementation of Industry 4.0 – A Systematic Literature Review of the Key Factors**. Systems Research and Behavioral Science, p. 1-22, 2020.

HUNICKE, R.; LEBLANC, M.; ZUBEK, R. MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research. **Proceedings...** The AAAI-04 Workshop on Challenges in Game AI, San Jose, 25-29 July, 2004, p. 1-5. Disponível em: <http://www.cs.northwestern.edu/~hunicke/MDA.pdf>. Acesso em: 22 set. 2017.

IBM. **Redefining boundaries: insight from the global C-suite study**, 2015. IBM. Nov. 2015. Disponível em: <http://www-935.ibm.com/services/c-suite/study/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS). **Portal ISO**, ISO/TR 13329:2012 (en), 2012. Disponível em: www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:13329:ed-1:v1:en. Acesso em: 16 set. 2020.

ISAIHAH, D. Automotive Grade Graphene: the Clock is Ticking. **Automotive World**, 26 ago. 2015. Disponível em: <http://www.automotiveworld.com/analysis/automotive-grade-graphene-clock-ticking/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

IVANOV, D. et al. Researchers' perspectives on Industry 4.0: multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. **International Journal of Production Research**, v. 0, n. 0, p. 1-24, 2020.

JOHANN, M. O. **Novos algoritmos para roteamento de circuitos VLSI**. 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2177/000315466.pdf?sequence=1>. Acesso em: 28 set. 2020.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech Study. Frankfurt: Heilmeyer und Sernau, 2013. Disponível em: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D.P. **Alinhamento**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

KOKALITCHEVA, K. WhatsApp now has 700M users, sending 30B messages per day. **VentureBeat**, Mobile, 6 jan. 2015. Disponível em: <http://venturebeat.com/2015/01/06/whatsapp-now-has-700m-users-sending-30b-messages-per-day/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

KOLODNY, L. DeepScale raises \$ 3 million for perception AI to make self-driving cars safe. **TechCrunch**, 21 mar. 2017. Disponível em: <https://techcrunch.com/2017/03/21/deepscale-raises-3-million-for-perception-ai-to-make-self-driving-cars-safe/>. Acesso em: 19 set. 2020.

KONRATH, S.; O'BRIEN, E.; HSING, C. Changes in dispositional empathy in American college students over time: a meta-analysis. **Personality and Social Psychology Review**, Ann Arbor, MI, v. 15, n. 2, p. 180-198, 5 ago. 2010.

KOREN, Y. **The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2009.

KURZWEIL, R. The Law of Accelerating Returns. **KurzweilAcceleratingIntelligence**, Essays, 7 mar. 2001. Disponível em: <http://www.kurzweilai.net/the-law-of-accelerating-returns>. Acesso em: 29 set. 2020.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodológica científica**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1993.

LASKOW, S. The strongest, most Expensive material on earth. **The Atlantic**, Technology, 23 set. 2014. Disponível em: <http://theatlantic.com/technology/archive/2014/09/the-strongest-most-expensive-material-on-earth/380601/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

LE BOTERF, G. **Desenvolvendo a competência dos profissionais**. São Paulo: Artmed, 2003.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p.18-23, jan. 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X>. Acesso em: 24 ago. 2017.

MANJOO, F. Uber's business model could change your work, **The New York Times**, Personal Tech, 28 jan. 2015. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2015/01/29/technology/personaltech/uber-a-rising-business-model.html?mcubz=0>. Acesso em: 24 ago. 2020.

MANYIKA, J.; CHUI, M. Digital era brings hyperscale challenges. **The Financial Times**, The Connected Business, 13 ago. 2014. Disponível em: <https://www.ft.com/content/f30051b2-1e36-11e4-bb68-00144feabdc0>. Acesso em: 24 ago. 2020.

MASETTO, M. T. **O professor na hora da verdade** – a prática docente no ensino superior. São Paulo: Avercamp, 2010.

MATTHEWS, E. The robot will see you now: can doctors survive the rise of AI? **The Spectator**, Health, 13 mar. 2017. Disponível em: <https://health.spectator.co.uk/the-robot-will-see-you-now-can-doctors-survive-the-rise-of-ai/>. Acesso em: 20 set. 2020.

MCCURRY, J. Japanese company replaces office workers with artificial intelligence. **The Guardian**, Tech, 5 jan. 2017. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/2017/jan/05/japanese-company-replaces-office-workers-artificial-intelligence-ai-fukoku-mutual-life-insurance>. Acesso em: 19 set. 2020.

MEYERSON, B. Top 10 Technologies of 2015. **Meta-Council on Emerging Technologies**, World Economic Forum, 4 mar. 2015. Disponível em: <http://agenda.weforum.org/2015/03/top-10-emerging-technologies-of-2015-2/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

MINAYO, M. C. de S. et al. **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 1996.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B; LAMPEL, J. **Safári de estratégia: um roteiro pela selva do planejamento estratégico**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

MIZUKAMI, M. G. N. As abordagens do processo ensino-aprendizagem e o professor. In: MIZUKAMI, M. G. N. **Ensino: as abordagens do processo**. p. 106-107. São Paulo: EPU, 1986.

MOEUF, A. et al. Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1384-1400, mar. 2020.

MORAES, M. SXSW 2017: para a Ford, futuro do transporte pode – ou não – incluir os carros. **Estadão**, Link, 16 mar. 2017. Disponível em: <http://link.estadao.com.br/noticias/inovacao,sxsw-2017-para-a-ford-futuro-do-transporte-pode-ou-nao-incluir-os-carros,70001702403>. Acesso em: 10 set. 2020.

MOTYLA, B. et al. **How will change the future engineers' skills in the Industry 4.0 framework? A questionnaire survey**, 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Modena, 2017.

MÜLLER V. C.; BOSTROM, N. Future Progress in Artificial Intelligence: A Survey of Expert Opinion. In: MÜLLER, V. C. (Ed.). **Fundamental Issues of Artificial Intelligence. Synthese Library** (Studies in Epistemology, Logic, Methodology, and Philosophy of Science), vol. 376. Springer, 2016.

MURPHY, S.; ATALA, A. 3D bioprinting of tissues and organs, **Nature Biotechnology**, v. 32, n. 8, ago 2014. Disponível em: <https://www.nature.com/nbt/journal/v32/n8/full/nbt.2958.html>. Acesso em: 09 out. 2020.

NAKAMURA, R.; CAMARA, P. G. Design de jogos e a experiência de exploração de espaços. **OBRA DIGITAL**, n. 5, Sept. 2013.

NOSE, M. M.; REBELATTO, D. A. N. O perfil do engenheiro segundo as empresas. **Anais... COBENGE**, 2001. Porto Alegre, RS: ABENGE, 2001.

NÓVOA, A. Três bases para um novo modelo de formação. **Nova Escola Gestão**, 01 set. 2013. Disponível em: <https://gestaoescolar.org.br/conteudo/182/tres-bases-para-um-novo-modelo-de-formacao>. Acesso em: 10 set. 2019.

NOWAK, M.; HIGHFIELD, R. **Supercooperators**. Altruism, evolution, and why we need each other to succeed. New York: Free Press, 2012.

NUDD, T. Future of retail? Nike's cool new toy lets you design and print custom sneakers in an hour. **Adweek**, Emerging Tech, 6 set. 2017. Disponível em: <http://www.adweek.com/creativity/future-of-retail-nikes-cool-new-toy-lets-you-design-and-print-custom-sneakers-in-an-hour/>. Acesso em: 20 set. 2020.

O ADMIRÁVEL mundo dos duplos digitais. **Estadão**, Economia e Negócios, 31 ago. 2017. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios,o-admiravel-mundo-dos-duplos-digitais,70001957796>. Acesso em: 15 set. 2020.

ONDEI, V. A era da inovação. **Dinheiro Rural**, São Paulo, Edição 152, p. 32-39, Set. 2020.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Data-Driven Innovation: Big Data for Growth and Well-Being**, OECD Publishing, Paris, 2015c. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264229358-en>. Acesso em: 30 set 2020.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Enabling the Next Production Revolution**, Issues Paper, OECD, Paris, 2015a. Disponível em: http://www.tacr.cz/dokums_raw/novinky/Next_Production_Revolution_CSTP_ICCP_2015_8_060315.pdf. Acesso em: 30 set. 2020.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Science, Technology and Innovation Outlook 2016**. Paris: OECD Publishing, 8 dez. 2016a. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en. Acesso em: 2 mar. 2020.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **The Innovation Imperative: Contributing to Productivity, Growth and Well-Being**. 2015b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239814-en>. Acesso em: 30 set 2020.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **The Internet of Things: Seizing the Benefits and Addressing the Challenges**, OECD Digital Economy Papers, N. 252, OECD Publishing, Paris, 2016b. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/5jlvvzz8td0n-en.pdf?expires=1506785675&id=id&acname=guest&checksum=6846B4FC029441C1BB21414EDB8D321E>. Acesso em: 30 set 2020.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **The Space Economy at a Glance 2014**, OECD Publishing, Paris, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264217294-en>. Acesso em: 30 set. 2020.

PECOTCHE, C. B. G. **O mecanismo da vida consciente**. São Paulo: Logosófica, 2007.

PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed Editora, 1999.

PFEIFFER, S. The Vision of “Industrie 4.0” in the Making—a Case of Future Told, Tamed, and Traded. *NanoEthics*, v. 11, n. 1, p. 107-121, jan. 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5383681/>. Acesso em: 08 set. 2020.

PINTO, A. V. **O conceito de tecnologia** – Volume I. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005.

PLONSKI, G. A. **Questões tecnológicas na sociedade do (des)conhecimento**. Disponível em: <<http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero1/plonski.htm>>. Acesso em: 07 out. 2021.

PODOLNY, S. If an algorithm wrote this, how would you even know? **The New York Times**, Opinion, 7 mar. 2015. Disponível em: http://www.nytimes.com/2015/03/08/opinion/sunday/if-an-algorithm-wrote-this-how-would-you-even-know.html?_r=0. Acesso em: 24 ago. 2020.

POLLOCK, R.; JEFFERSON, A.; WICK, C. **6 Ds – As seis disciplinas que transformam educação em resultados para o negócio**. São Paulo: Evora, 2016.

POPPER, K. R. **Lógica das ciências sociais**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1999.

PORTER, M. E. **Competitive Strategy**. Nova York: Free Press, 1980.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming competition. **Harvard Business Review**, v. 92, n. 11, p. 64-88, 2014. Disponível em: http://www.gospi.fr/IMG/pdf/porter-2014-hbr_how-smart-connected-products-are-transforming-competitionhbr-2014.pdf. Acesso em: 8 set. 2020.

PORTER, M. E. How Competitive Forces Shape Strategy. **Harvard Business Review**, Mar.–Apr., p. 137-145, 1979,

PORTER, M. E.; MILLAR, V. E. **How information gives you competitive advantage**. 1985. Disponível em: http://www.gospi.fr/IMG/pdf/how_information_gives_you_competitive_advantage-porter-hbr-1985.pdf. Acesso em: 8 set. 2017.

QUARTA revolução industrial ameaça milhões de empregos. **Seteco** (Valor Econômico), Notícias, 19 jan. 2016. Disponível em: <http://www.seteco.com.br/quarta-revolua-a-o-industrial-ameaa-a-milhaes-de-empregos-valor-econamico/>. Acesso em: 08 jan. 2020.

RAMSAY, M.; CACMILLAN, D. Carnegie Mellon Reels After Uber Lures Away Researchers, **Wall street Journal**, 31 maio 2015. Disponível em: <http://www.wsj.com/articles/is-uber-a-friend-or-foe-of-carnegie-mellon-in-robotics-1433084582>. Acesso em: 24 ago. 2020.

ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. Synthetic Biology: scope, applications and implications. London: **Royal Academy of Engineering**, maio 2009. Disponível em: www.raeng.org.uk/publications/reports/synthetic-biology-report. Acesso em: 16 set. 2020.

QUALMAN, E. **Socialnomics**: como as mídias sociais estão transformando a forma como vivemos e fazemos negócios. São Paulo: Saraiva, 2011.

RODRIGUES, G. M. 2017. A quarta revolução industrial. As coisas mais criativas do mundo, **Criativar**, 19 jul. 2017. Disponível em: <https://ascoisasmaiscriativasdomundo.catracalivre.com.br/%20criativar/quarta-revolucao-industrial/>. Acesso em: 11 set. 2017.

ROSEN, L. D. **iDisorder**: understanding our obsession with technology and overcoming its hold on us. New York: Macmillan, 2012.

SALUM, M. J. G. Os currículos de Engenharia no Brasil – estágio atual e tendências. In: VON LINSINGEN, I. et al. (Orgs.) Formação do engenheiro: desafios da atuação docente, tendências curriculares e questões da organização tecnológica. Florianópolis: EDUFSC, 1999.

SAUNDERS, T.; BAECK, P. Rethinking smart cities from the ground up. **Nesta**, Londres, Jun. 2015. Disponível em: http://www.nesta.org.uk/sites/default/files/rethinking_smart_cities_from_the_ground_up_2015.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

SCHUH et al., G. et al. (Eds.). **Industrie 4.0 Maturity Index** – managing the digital transformation of companies. Acatech Study Series. Abr., 2017. Disponível em: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf. Acesso em: 6 ago. 2020.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1ª ed. São Paulo: Editora Edipro, 2016.

SEGRAN, E. The Ethical Quandaries You Should Think About the Next Time You Look at Your Phone, **Fast Company**. 5 out. 2015. Disponível em: <http://www.fastcompany.com/3051786/most-creative-people-/the-ethical-quandaries-you-should-think-about-the-next-time-you-look-at>. Acesso em: 24 ago. 2020.

SILVA, K. C.; CARVALHO, O. F. Trabalho e projeto de vida: Competência para a quarta Revolução Industrial. **Revista Com Censo: Estudos Educacionais do Distrito Federal**, [S.l.], v. 6, n. 4, p. 10-17, nov. 2019. ISSN 2359-2494. Disponível em: <http://www.periodicos.se.df.gov.br/index.php/comcenso/article/view/738>. Acesso em: 11 set. 2020.

SILVA, R. S; TRISKA, R. Discutindo uma terminologia para os videogames: da jogabilidade ao gameplay. **Anais...** 4o Congresso Sulamericano de Design de Interação. São Paulo, 2012.

STARTUP GENOME. **Global Ecosystem Report**. San Francisco: Startup Genome, set. 2017. Disponível em: <https://startupgenome.com/thank-you-enjoy-reading/>. Acesso em: 26 out. 2020.

TECHNOLOGY and jobs: Coming to an office near you. **The Economist**, Print Edition, Leaders, 18 jan. 2014. Disponível em: <https://www.economist.com/news/leaders/21594298-effect-todays-technology-tomorrows-jobs-will-be-immenseand-no-country-ready>. Acesso em: 10 set. 2020.

TEMPO de concentração das pessoas na era digital é menor que o de um peixe. **O Globo**, Sociedade, Tecnologia, 14 jun. 2016. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/tecnologia/tempo-de-concentracao-das-pessoas-na-era-digital-menor-que-de-um-peixe-16153807>. Acesso em: 22 out. 2020.

TENCENT. **Announcement of results for the three and nine months ended**. 2015. Disponível em: <http://www.tencent.com/en-us/content/ir/an/2015/attachments/20151110.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2020.

THE FUTURE of fast fashion. **The Economist**, Business, La Coruña, Spain, 16 jun. 2005. Disponível em: <http://www.economist.com/node/4086117>>. Acesso em 15 set. 2020.

TOKUHAMA-ESPINOSA, T. **The scientifically substantiated art of teaching**. San Francisco de Quito, Ecuador: International Baccalaureate Organisation, 30 out. 2011. Disponível em: <http://www.ibo.org/contentassets/477a9bccb5794081a7bb8dd0ec5a4d17/traceytokuhama-espinoza-thescientificallysubstantiatedartofteachinghollandoct2011.pdf>. Acesso em: 22 out. 2017.

TONINI, A. M. O perfil do engenheiro contemporâneo a partir da implementação de atividades complementares em sua formação. **Anais... VIII ENEDS**. Ouro Preto, 2011. Disponível em: <https://anais.eneds.org.br/index.php/eneds/article/view/546/497>. Acesso em: 15 set. 2020.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

TURNER, G. Cybersecurity index beat S&P500 by 120%. here's why, in charts. **The Wall Street Journal**, Money Beat, 9 set. 2015. Disponível em: <http://blogs.wsj.com/moneybeat/2015/09/09/cybersecurity-index-beats-sp500-by-120-heres-why-in-charts/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

UNESCO. **Relatório GEM**. Brasília: UNESCO no Brasil, 20 out. 2017. Disponível em: http://www.unesco.org/new/pt/brasil/about-this-office/single-view/news/report_that_analyses_the_responsability_of_diverse_actors_fo/. Acesso em: 27 out. 2020.

VASCONCELLOS, C. S. **A atividade humana como princípio educativo**. Coleção Cadernos Pedagógicos do Libertad, v. 7. São Paulo: Libertad, 2009.

WANG, S. et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, v. 101, p. 158-168, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128615005046>. Acesso em: 11 set. 2020.

WATERS, R. Falta informação sobre impacto da robótica. **Valor Econômico**, 17 abr. 2017. Disponível em: <https://www.pressreader.com/brazil/valor-econ/C3%B4mico/20170417/281990377395404>. Acesso em: 14 out. 2020.

WENTZEL, M. 'Quarta revolução industrial': Como o Brasil pode se preparar para a economia do futuro. **BBC Brasil**, Brasília, 22 jan. 2016. Disponível em: http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/01/160122_quarta_revolucao_industrial_mw_a_b. Acesso em: 10 set. 2017.

WETTERSTRAND, K. DNA Sequencing Cost: Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP). **National Human Genome Research Institute**, 24 maio 2016. Disponível em: <http://www.genome.gov.sequencingcosts/>. Acesso em: 2 out. 2019.

WORLD BANK. **World development Report 2018**. Learning to realize education promise. Washington, DC: World Bank, out. 2017. Disponível em: <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1096-1>. Acesso em: 22 out. 2017.

WORLD ECONOMIC FORUM. Deep Shift. Technology tipping points and societal impact. Global Agenda Council on The Future of Software and Society. **World Economic Forum**, set. 2015. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. Programme. **WEForum**. Davos-Klosters, Switzerland, 20-23 January 2016. Disponível em: <https://www.weforum.org/events/world-economic-forum-annual-meeting-2016/programme>. Acesso em: 20 ago. 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The global competitiveness report 2017-2018**. Geneva: World Economic Forum, 2017. Disponível em: <<http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>>. Acesso em 29 set. 2017.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 4^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZARIFIAN, P. **O modelo da competência: trajetória histórica, desafios atuais e respostas**. São Paulo: Editora Senac, 2003.

ZARIFIAN P. **Objetivo Competência: por uma nova lógica**. 1^a. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

ZOGBY ANALYTICS, Millennial Study 2014, **Miteksystems**, 2014. Disponível em: <https://www.miteksystems.com/resources/2014-zogby-analytics-millennial-study>. Acesso em: 07 ago. 2020.

ZOLFAGHARIFARD, E. Would you take orders from a ROBOT: **Mail Online**, Science 19 maio 2014. Disponível em: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2632920/Would-orders-ROBOT-Artificial-intelligence-world-s-company-director-Japan.html>. Acesso em: 23 set. 2020.

APÊNDICES

Apêndice A – Roteiro da entrevista semiestruturada

Pesquisador: Felipe Rodrigues Madeira

Codificação CAAE: 54362221.1.0000.8507

Data da entrevista:

A – PERFIL DOS ALUNOS ENGENHEIROS

- 1) Qual a sua idade?
- 2) Qual sua instituição de ensino?
- 3) Qual seu sexo: __Feminino ou __Masculino
- 4) Qual sua modalidade de engenharia?
- 5) Descreva a sua motivação atual para estudar engenharia.
- 6) Você considera estar preparado para o mercado de trabalho atual? Por quê?
- 7) Apresente seus pontos fortes e pontos fracos recebidos na sua formação tecnológica atual.
- 8) O que você entende por Indústria 4.0? Explique.
- 9) O que compõe a Indústria 4.0?
- 10) Na sua formação em engenharia em algum momento foi abordado esse tema em sala de aula ou nas atividades complementares?
- 11) O que você entende como processo de transformação digital?
- 12) Indique exemplos das tecnologias habilitadoras para a revolução digital.
- 13) Possui alguma experiência em tecnologias chamadas 4.0? Comente.
- 14) Você pesquisa e/ou estuda os temas da Indústria 4.0 na sua instituição ou fora dela?
- 15) O que você imagina que serão os desafios para sua profissão como engenheiro?
- 16) Quais motivos levaram você a seguir a carreira de engenharia?

B – PERFIL DOS ENGENHEIROS EGRESSOS

- 1) Qual a sua idade?
- 2) Qual instituição de ensino?
- 3) Qual seu sexo: __Feminino ou __Masculino
- 4) Qual sua modalidade de engenharia?
- 5) Descreva a sua motivação atual em trabalhar na área da engenharia.
- 6) Você considera estar preparado para o mercado de trabalho atual?
- 7) Apresente seus pontos fortes e pontos fracos recebidos na sua formação tecnológica atual?
- 8) O que você entende por Indústria 4.0? Explique.
- 9) O que compõe a Indústria 4.0?
- 10) Na sua formação em engenharia em algum momento foi abordado esse tema em sala de aula ou nas atividades complementares?
- 11) O que você entende como processo de transformação digital?
- 12) Indique exemplos das tecnologias habilitadoras para a revolução digital.
- 13) Possui alguma experiência em tecnologias chamadas 4.0? Comente.
- 14) Você pesquisa e/ou estuda os temas da Indústria 4.0 na sua instituição ou fora dela?
- 15) Descreva os desafios para sua profissão como engenheiro?
- 16) Quais motivos levaram você a seguir a carreira de engenharia?

C – ATUAÇÃO ACADÊMICA (ALUNOS)

- 1) Quais atividades realiza além de estudar engenharia?
- 2) Qual a sua carga horária de estudo semanal?
- 3) Você realiza alguma atividade autodidata para aprendizado no campo da tecnologia?
- 4) Você acredita que a escola está alinhada com a tecnologia da indústria?
- 5) Existem dificuldades no aprendizado de engenharia? Como procura superá-las?
- 6) Você se sente atualizado para discutir temas relacionados à Indústria 4.0?
- 7) Como você compreende o conceito de Quarta Revolução Industrial?
- 8) Você considera importante o Brasil investir na implantação da I 4.0? Por quê?
- 9) Quais oportunidades e benefícios para o Brasil, e para a humanidade, em decorrência da aplicação da tecnologia e dos processos habilitadores da Quarta Revolução Industrial?
- 10) Qual a relevância da tecnologia para a formação do engenheiro atual e do futuro?
- 11) Indique os fatores fundamentais para criar uma escola mais produtiva e preparada para o mundo digital. Como poderia ser incluída a formação digital e relacionada à Indústria 4.0 no currículo?
- 12) Comente como as competências na formação tecnológica poderiam impactar a competitividade do Brasil em relação à países mais desenvolvidos.
- 13) Como vê a experiência formativa pela qual está passando, em relação à tecnologia de ponta?
- 14) Como esta experiência se relaciona com a sua motivação e capacidade de estudar autonomamente sobre o tema da Indústria 4.0?
- 15) O que pensa ser a sua qualidade mais acentuada neste processo de aprendizado?
- 16) O que é saber, conhecimento e competência para você?

D – ATUAÇÃO PROFISSIONAL (EGRESSOS)

- 1) Qual a sua trajetória de formação profissional?
- 2) Durante sua graduação, você cursou alguma disciplina voltada para a tecnologia da indústria 4.0? Comente a respeito.
- 3) Já cursou ou cursa atualmente algum tipo de curso que permita adquirir uma formação adicional em tecnologia? Qual?
- 4) Você consegue descrever alguma lacuna entre a realidade da indústria e a da escola de engenharia?
- 5) Você considera o tema Indústria 4.0 necessário para a formação do engenheiro atual?
- 6) Você se sente atualizado para discutir temas relacionados à Indústria 4.0?
- 7) Como você compreende o conceito de Quarta Revolução Industrial?
- 8) Você considera importante o Brasil investir na implantação da I 4.0? Por quê?
- 9) Quais oportunidades e benefícios para o Brasil, e para a humanidade, em decorrência da aplicação da tecnologia e dos processos habilitadores da Quarta Revolução Industrial?
- 10) Qual a relevância da tecnologia para as fábricas do futuro?
- 11) Indique os fatores fundamentais para criar uma empresa mais produtiva e preparada para o mundo digital.
- 12) Comente como as competências na formação tecnológica poderiam impactar a competitividade do Brasil em relação à países mais desenvolvidos.
- 13) Como vê a experiência profissional pela qual está passando, em relação à tecnologia de ponta?
- 14) Como esta experiência se relaciona com a sua motivação e capacidade de estudar autonomamente sobre o tema da Indústria 4.0?
- 15) O que pensa ser a sua qualidade mais acentuada neste processo de aprendizado?
- 16) O que é saber, conhecimento e competência para você?