

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VITOR VENCIO MARQUES PINTO

A ENGENHARIA MECATRÔNICA NO MUNDO DISRUPTIVO E SUAS
PECULIARIDADES NA INTELIGÊNCIA DAS COISAS

São Carlos

2021

VITOR VENCIO MARQUES PINTO

A ENGENHARIA MECATRÔNICA NO MUNDO DISRUPTIVO E SUAS
PECULIARIDADES NA INTELIGÊNCIA DAS COISAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo.
Curso de Engenharia Mecatrônica.

Orientadora: Prof. Dra. Maíra Martins da Silva

São Carlos

2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

P659a Pinto, Vitor Vêncio Marques
A ENGENHARIA MECATRÔNICA NO MUNDO DISRUPTIVO E
SUAS PECULIARIDADES NA INTELIGÊNCIA DAS COISAS / Vitor
Vêncio Marques Pinto; orientadora Maira Martins da
Silva. São Carlos, 2021.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica)
-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, 2021.

1. Internet das Coisas. 2. Mundo VUCA. 3.
Tecnologias Disruptivas. 4. Engenharia Mecatrônica no
Mundo. 5. Estudos de Casos de IoT em Universidades. I.
Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato: Vitor Vêncio Marques Pinto

Título:

A engenharia mecatrônica no mundo disruptivo e suas peculiaridades na inteligência das coisas.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo.
Curso de Engenharia Mecatrônica.

BANCA EXAMINADORA

Professor Dra. Maíra Martins da Silva
(Orientador)

Nota atribuída: 8,5 (oito, cinco)

Maíra M. da Silva

(assinatura)

Professor Dr. Rodrigo Nicoletti

Nota atribuída: 8,5 (oito, cinco)

Maíra M. da Silva

(assinatura)

Pós-Graduando Arthur Silva Barbosa

Nota atribuída: 8,5 (oito, cinco)

Maíra M. da Silva

(assinatura)

Média: 8,5 (oito, cinco)

Resultado: aprovado

Data: 14 / 07 / 2021.

Este trabalho tem condições de ser hospedado no Portal Digital da Biblioteca da EESC

SIM NÃO Visto do orientador Maíra M. da Silva

*A minha falecida avó que sempre me
ouviu, incentivou e teve muito
orgulho de mim.*

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que passaram pela minha vida e influenciaram meus pensamentos, opiniões e caminhos que trilhei até aqui.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado. Em especial a professora Dra. Maíra Martins da Silva, por toda orientação, dedicação e amizade, e aos professores Dr. Rodrigo Nicoletti, Dr. Daniel Varela Magalhães e Dr. Osvaldo Novais de Oliveira Junior.

A todos os amigos que trilharam o mesmo caminho que eu no curso de mecatrônica, no qual dividimos as mesmas felicidades, diversões, angustias e desafios, em particular a Ozita Salustiano, Isaak Machado, Vitor Becker e João Ricardo Signoretti.

A toda equipe da Campanha USP do Agasalho.

A minha antiga equipe de trabalho na Stefanini, Gustavo Chim, Aline Gubitoso e Victor Vincenzi, essenciais no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por influenciar no tema deste trabalho.

A todas as pessoas da Arquiteliê, empresa que me acolheu, me apoiou e me incentivou em todos os momentos da produção deste trabalho, sendo complacente e flexível ao me abrir novas portas e trazer novos sonhos.

Aos meus entes queridos que me impulsionaram em momentos difíceis, fazendo com que este trabalho se tornasse realidade. Principalmente minha mãe, Jaqueline, que em todos os momentos esteve do meu lado me dando forças para continuar e crescer.

A minha amiga, companheira e namorada Kássia Barros Neves que me deu a força necessária para conquistar patamares mais altos, sempre estando por perto quando precisei.

Aos meus amigos que me viram passar por situações desconfortáveis e mesmo assim estavam do meu lado para me apoiar a superar os desafios e alcançar os meus sonhos, mesmo que distantes. Em especial: Alana Moura, Anaise Mendes, Pedro Kumagai, Letícia Benevides, Natan Magno, Lauane Lício, Ingrid Stephanie, Phillippe Carlo, Amanda Barreto e Bruno Brandão.

RESUMO

PINTO, V. V. M. A engenharia mecatrônica no mundo disruptivo e suas peculiaridades na inteligência das coisas. 2021. 101 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

A rápida mudança e transformação do mundo trouxe novos paradigmas, não só para as tecnologias, como também para as universidades e cursos por elas ministrados. O mundo VUCA advindo da 4º Revolução Industrial, estrelada pela tecnologia da informação, exigiu que as tecnologias se tornassem disruptivas, trazendo a popularização de inovações como a internet das coisas. Indagando-nos, também, se um curso de engenharia mecatrônica, como o da EESC USP, está preparada para graduar engenheiros de forma adequada para atendê-las. A fim de entender isso, um estudo minucioso sobre a evolução da mecatrônica é feito, explorando a fundo os desafios que ela encontra atualmente. Foi necessário também estudar a IoT, suas peculiaridades técnicas, seus impactos sociais e alguns exemplos de casos, para conseguirmos contextualizar como ela está inserida na engenharia da EESC e de universidades como MIT, ETHZ e NUS, que foram devidamente selecionadas a partir de rankings internacionais. Cada uma delas é explorada de forma metodológica, compreendendo como trabalham as tecnologias disruptivas ao se entender, de forma geral, a grade curricular ministrada por cada uma e realizar estudos de casos de seus centros de pesquisa e projetos em andamento. Traçando-se, assim, um paralelo entre como cada universidade está se movendo em relação ao mundo VUCA, podendo-se perceber que o curso de engenharia mecatrônica na EESC USP não está distante das demais universidades, mas ainda não começou seu movimento de transformação identificado nas demais. Deste modo, é proposto duas disciplinas novas a serem inseridas na grade da mecatrônica da EESC, para iniciar o movimento, assim como duas ideias de projetos que podem ser trabalhados ao longo do curso, para aproximar os alunos à internet das coisas. Com isso, preparando melhor os engenheiros da USP a encararem os desafios atuais deste mundo VUCA.

Palavras-chave: Internet das coisas, Mundo VUCA, Tecnologias Disruptivas, Engenharia mecatrônica no Mundo, Estudos de Casos de IoT em Universidades.

ABSTRACT

PINTO, V. V. M. **Mechatronic engineering in the disruptive world and its peculiarities in the intelligence of things.** 2021. 101 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

The rapid change and transformation of the world has brought new paradigms, not only for the technologies, but also for the universities and courses offered by them. The VUCA world arising from the 4th Industrial Revolution, starring information technology, demanded that technologies become disruptive, bringing the popularization of innovations such as the internet of things. Asking us, too, if a mechatronics engineering course, such as the one at EESC USP, is prepared to graduate engineers in an adequate way to meet them. In order to understand this, a thorough study of the evolution of mechatronics is carried out, exploring in depth the challenges it currently faces. It was also necessary to study the IoT, its technical peculiarities, its social impacts and some case examples, in order to be able to contextualize how it is inserted in the engineering of the EESC and universities such as MIT, ETHZ and NUS, which were duly selected from international rankings. Each one of them is explored in a methodological way, comprehending how disruptive technologies work by understanding, in general, the curriculum taught by each one and carrying out case studies of their research centers and ongoing projects. Thus, drawing a parallel between how each university is moving in relation to the VUCA world, so it can be seen that the mechatronics engineering course at the EESC USP is not far from other universities, but its transformation movement, identified on the others, has not yet begun. In this way, two new disciplines are proposed to be included in the EESC mechatronics curriculum, to start the movement, as well as two project ideas that can be worked on throughout the course, to bring students closer to the internet of things. In this manner, better preparing USP engineers to face the current challenges of this VUCA world.

Keywords: Internet of Things, VUCA World, Disruptive Technologies, Mechatronics Engineering in the World, IoT Case Studies in Universities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Doze tecnologias potencialmente disruptivas.....	27
Figura 2.1: Resultados de pesquisa no Google Scholar para artigos com um ou ambos os termos “mechatronic” e “mechatronics” no título no período 1969–2013.....	33
Figura 2.2: Resultados de pesquisa no Web of Knowledge e IEEE Xplore para artigos com um ou ambos os termos “mechatronic” e “mechatronics” como palavra-chave no resumo no período 1969–2013.	33
Figura 2.3: Resultados de pesquisa no <i>Web of Knowledge</i> e <i>IEEE Xplore</i> para artigos na área de assuntos derivados da mecatrônica como palavra-chave.....	34
Figura 2.4: Evolução da mecatrônica.	35
Figura 2.5: Crescimento no número de aparelhos conectados.	36
Figura 2.6: Estrutura base de <i>cloud</i> para internet das coisas.	37
Figura 2.7: Ilustração do modelo em cascata.	41
Figura 2.8: Modelo de desenvolvimento em V.	41
Figura 2.9: Modelo de desenvolvimento <i>Agile</i>	42
Figura 2.10: Desenvolvimento e diversificação das tecnologias mecatrônicas no período de 1970-2010.....	43
Figura 2.11: Tecnologias mecatrônicas e domínios relacionados.	44
Figura 2.12: Balanço técnico de educação. (a) Educação especializada; (b) Educação da mecatrônica.....	44
Figura 2.13: Habilidades essenciais de um engenheiro mecatrônico na visão do <i>Packaging Machinery Manufacturers Institute</i> (PMMI).....	45
Figura 2.14: Fatores na interação em UX.....	47
Figura 2.15: Escopo para design de UX.	47
Figura 3.1: Internet das coisas como resultado de diferentes visões.	55
Figura 3.2: Sistema básico particionado do funcionamento da IoT.	56
Figura 3.3: Sistema básico particionado do funcionamento da IoT.	56
Figura 3.4: Campos de aplicação de IoT em plataformas na nuvem.....	57
Figura 3.5: Potencial impacto das aplicações de IoT na economia em dólares até 2025.....	58
Figura 3.6: Campos de aplicação de IoT em plataformas na nuvem.....	59
Figura 3.7: Árvore de aplicações de internet das coisas em plataformas na nuvem.	59
Figura 3.8: Ilustração básica de um sensor RFID.....	60

Figura 3.9: RFID do tamanho de um grão de arroz.....	61
Figura 3.10: Esquema de funcionamento da IoT na arquitetura de WSN.....	63
Figura 4.1: Gráfico do número de conteúdo de cada área relacionado à IoT a partir dos anos 2000 no acervo da AGUIA Portal de Busca Integrada (PBi).	67
Figura 4.2: Comparação do número de conteúdo relacionado à IoT a partir dos anos 2000 no acervo da AGUIA Portal de Busca Integrada (PBi).	68
Figura 4.3: Gráfico quantitativo da classificação das disciplinas do curso de Engenharia Mecatrônica da EESC USP.	70
Figura 4.4: Gráfico de radar das subáreas das disciplinas da grade de Engenharia Mecatrônica da EESC USP.	71
Figura 4.5: Gráfico de divisão das matérias no curso de Engenharia Mecatrônica oferecido pelo MIT.....	73
Figura 4.6: Um nó da rede de IoT subaquática, U2B.....	75
Figura 4.7: Grade geral do curso de Engenharia Mecânica oferecido pela EHTZ.....	76
Figura 4.8: Matérias eletivas recomendadas para cada assunto foco.	77
Figura 4.9: Estrutura da grade geral do curso de engenharia mecânica oferecida pela NUS...80	80
Figura 4.10: Sugestões de graduações disponibilizadas pela NUS.	81
Figura 4.11: <i>Minors</i> disponíveis por campos disponibilizadas pela NUS.....	81
Figura 4.12: Aparelho EPOC desenvolvido no <i>Smart Systems Institute</i> da NUS.....	82
Figura 4.13: Arquitetura de rede (NUSwan) para IoT utilizada pelo <i>NUS Environmental Research Institute</i>	83
Figura 4.14: Pacote de sensores inteligentes de baixo custo (<i>SwanNode</i>).	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formas de comercialização de serviços baseado em aplicações de <i>cloud</i>	38
Tabela 2: Algumas respostas dos participantes da 14 ^a edição do “ <i>Mechatronics Forum International Conference</i> ” sobre as questões mais desafiadoras para a mecatrônica.	Erro!
Indicador não definido.	
Tabela 3: Fatores adicionais a serem levados em consideração ao ensino.....	46
Tabela 4: Elementos base para UX.....	47
Tabela 5: Ameaças percebidas pela ISACA na segurança dos sistemas.	49
Tabela 6: Classificação da grade de disciplinas do curso de Engenharia Mecatrônica da EESC USP em 24/05/2021.....	68
Tabela 7: Seleção das universidades nos ranques QS, ARWU e THE por assunto.	72
Tabela 8: Ramos de interesse oferecidos pelo MIT para o curso de Engenharia Mecânica	74
Tabela 9: Áreas disponíveis para especialização para engenheiros mecânicos na EHTZ.....	78
Tabela 10: Projetos de aplicações desenvolvidos pela <i>NCCR Dependable Ubiquitous Automation</i>	79
Tabela 11: Divisão das disciplinas da área da mecatrônica em 2 núcleos.	87

LISTAS DE SIGLAS

ABS	-	<i>Anti-lock Braking System</i>
ARWU	-	<i>Academic Ranking of World Universities</i>
CAMS	-	<i>Centre for Advanced Materials and Structures</i>
CSAIL	-	<i>Computer Science & Artificial Intelligence Lab</i>
EESC	-	Escola de Engenharia de São Carlos
EIT	-	<i>European Institute of Innovation and Technology</i>
ETCS	-	<i>European Credit Transfer System</i>
ETHZ	-	<i>ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology</i>
GDPR	-	<i>General Data Protection Regulation</i>
IaaS	-	<i>Infrastructure as a Service</i>
ICMC	-	Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
ICT	-	<i>Information and Communication Technology</i>
IDSS	-	<i>Institute for Data, System, and Society</i>
IEEE	-	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IoT	-	Internet das Coisas
ISACA	-	<i>Information System Audit and Control Association</i>
LGPD	-	Lei Geral de Proteção de Dados
MCs	-	<i>Modular Credits</i>
MEMS	-	Sistemas Micro Elétrico Mecânicos
MIT	-	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NCCR	-	Centro Nacional de Competência em Pesquisa
NUS	-	<i>National University of Singapore</i>
PaaS	-	<i>Platform as a Service</i>
PBi	-	Portal de Busca integrada
PMMI	-	<i>Packaging Machinery Manufacturers Institute</i>
QS	-	<i>Quacquarelli Symonds</i>
RESC	-	<i>Competence Center for Rehabilitation Engineering and Science</i>
RFID	-	Sensor de identificação de radiofrequência
SaaS	-	<i>Software as a Service</i>
THE	-	<i>Times Higher Education</i>
TI	-	Tecnologia da Informação

USP	-	Universidade de São Paulo
UX	-	User Experience
VUCA	-	Volatilidade, Incerteza, Complexidade e Ambiguidade
WSN	-	<i>Wireless Sensor Network</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	26
1.1. Justificativa	28
1.2. Objetivos	29
1.3. Metodologia	29
2. MECATRÔNICA E SEUS DESAFIOS	32
2.1. Uma perspectiva histórica.....	32
2.2. Uma perspectiva atual.....	35
2.3. Desafios	38
2.3.1. Design.....	39
2.3.2. Educação.....	42
2.3.3. Experiência dos usuários	46
2.3.4. Privacidade e Segurança	48
2.3.5. Sustentabilidade.....	49
3. INTERNET DAS COISAS (IOT)	53
3.1. Introdução da Internet das Coisas.....	53
3.2. Definições	54
3.3. Exemplos	60
3.3.1. RFID	60
3.3.2. Cidades Inteligentes.....	62
3.3.3. Indústria	64
4. IOT NAS UNIVERSIDADES	67
4.1. IoT na engenharia mecatrônica da EESC USP	67
4.2. IoT na engenharia nas universidades pelo mundo	71
4.2.1. <i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	72
4.2.2. <i>ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ)</i>	76

4.2.3. <i>National University of Singapore (NUS)</i>	79
5. O MUNDO E A EESC USP.....	85
5.1. Paralelos.....	85
5.2. Propostas	86
6. CONCLUSÃO.....	91
7. REFERÊNCIAS	93

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias têm o poder de causar mudanças que impactam e abalam as estruturas da sociedade em âmbitos culturais, econômicos e comportamentais. Elas geram novas demandas, novos produtos, novas necessidades, novos estilos de vida, novos ambientes e novas ideias.

Em um contexto geral, essas mudanças abrangem a tecnologia em dois tipos distintos de inovações: disruptivas e sustentadoras (CHRISTENSEN, 1997). Enquanto as sustentadoras utilizam a tecnologia como meio a evoluir de forma fluida, as disruptivas quebram paradigmas revolucionando a sociedade e o mercado.

As tecnologias disruptivas podem ser vistas em diversos momentos marcantes da história. Exemplos disso são as revolução industriais, nas quais a primeira surgiu com a criação de máquinas a vapor, a segunda impactou o mundo com a linha de produção industrial desenvolvido por Ford, os transistors na terceira revolução industrial viabilizando a distribuição dos computadores, a internet gerando a ampla comunicação e armazenamento de dados e muitas outras.

Não obstante do que o homem conseguiu criar com as tecnologias disruptivas no passado, atualmente também temos uma série de tecnologias que estão causando a disruptão socioeconômica e fazendo com que mudemos nossos hábitos como um todo. Em 2013 a McKinsey elencou 12 tecnologias potencialmente disruptivas na atualidade, Fig. 1.1, que vão causar grande impacto na sociedade até 2025 (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013).

Entendendo o contexto atual, percebe-se que o desenvolvimento e pesquisa de muitas dessas tecnologias são ao mesmo tempo dependentes de conhecimentos de Engenharia Mecatrônica, quanto vão possibilitar que ela chegue a um novo patamar de design, integração e produção. Uma dessas tecnologias que mais se aproxima da mecatrônica é a internet das coisas (*Internet of Things*), que traz não só o desafio de miniaturização de sistemas com sensores, processadores e atuadores de baixo custo, mas também a integração com os mais diversos usuários, obtenção e tratamento de dados e até ética (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016).

Tendo em vista isto, várias dúvidas surgem em um ambiente acadêmico estudantil. Esta monografia, então, se propõe a estudar como a mecatrônica está situada no contexto da tecnologia disruptiva da internet das coisas. Verificando no seu decorrer, por estudos de casos, se o bacharelado de engenharia mecatrônica fornecido pela Escola de Engenharia de São Carlos

(EESC) condiz com o apresentado por universidades globais renomadas e ficando a cargo de propor possíveis projetos a serem trabalhados na universidade.

Figura 1.1: Doze tecnologias potencialmente disruptivas.

Twelve potentially economically disruptive technologies

	Mobile Internet	Increasingly inexpensive and capable mobile computing devices and Internet connectivity
	Automation of knowledge work	Intelligent software systems that can perform knowledge work tasks involving unstructured commands and subtle judgments
	The Internet of Things	Networks of low-cost sensors and actuators for data collection, monitoring, decision making, and process optimization
	Cloud technology	Use of computer hardware and software resources delivered over a network or the Internet, often as a service
	Advanced robotics	Increasingly capable robots with enhanced senses, dexterity, and intelligence used to automate tasks or augment humans
	Autonomous and near-autonomous vehicles	Vehicles that can navigate and operate with reduced or no human intervention
	Next-generation genomics	Fast, low-cost gene sequencing, advanced big data analytics, and synthetic biology ("writing" DNA)
	Energy storage	Devices or systems that store energy for later use, including batteries
	3D printing	Additive manufacturing techniques to create objects by printing layers of material based on digital models
	Advanced materials	Materials designed to have superior characteristics (e.g., strength, weight, conductivity) or functionality
	Advanced oil and gas exploration and recovery	Exploration and recovery techniques that make extraction of unconventional oil and gas economical
	Renewable energy	Generation of electricity from renewable sources with reduced harmful climate impact

Fonte: (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013).

1.1. Justificativa

A motivação do estudo inicia-se no entendimento de que o mundo está em constante mudança e rápida transformação, de que é preciso estar preparado para enfrentar diversos desafios e problemáticas de forma rápida, intuitiva e adaptável. Já em 1987, Warren Bennis e Burt Nanus nos descrevem o mundo VUCA (U.S. ARMY HERITAGE AND EDUCATION CENTER, 2018). Um mundo cercado por 4 pilares:

- *Volatility* (Volatilidade);
- *Uncertainty* (Incerteza);
- *Complexity* (Complexidade);
- *Ambiguity* (Ambiguidade).

Estes trazem a visão da imprevisibilidade do mercado como um todo devido a um volume de mudanças gigantescos, a grande disponibilidade de informações, a conectividade e interdependência de fatores e as muitas formas de interpretação e análise de dados.

O mundo VUCA é exatamente o reflexo do impacto que as tecnologias disruptivas trazem ao mundo moderno (KAIKO-OJA e LAURAEUS, 2018), fazendo-nos pensar se o engenheiro mecatrônico está preparado para enfrenta-lo e se integrar ao mercado de trabalho. A internet das coisas, como uma tecnologia disruptiva, não fica de fora desse movimento mundial. Trazendo seus novos ambientes sociais e econômicos de interação, análise de dados e tomadas de decisões em tempo real, desafia o mecatrônico a chegar em novos patamares de desenvolvimento. Exibindo-nos, assim, uma grande justificativa para o estudo do assunto.

Além disso, outra justificativa vem dos questionamentos “Um engenheiro formado na EESC está preparado para o mercado de trabalho? Ele detém conhecimento para entender, desenvolver, interagir e influenciar sobre as tecnologias disruptivas, em principal a internet das coisas, em um mundo VUCA?”. Embora a Escola de Engenharia de São Carlos não possa ser questionada quanto a qualidade do seu ensino devido seu sucesso ao estar posicionada como uma entre as melhores escolas da América Latina e sua referência mundial, o estudo se mantém válido devido a especificidade da análise em cima da IoT (*Internet of Things*).

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é entender o posicionamento da engenharia mecatrônica atualmente frente a um mundo disruptivo e da internet das coisas. Objetiva-se estudar como a mecatrônica se comporta na IoT avaliando como ela é abordada, trazendo um comparativo de como o curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) trabalha essa tecnologia no bacharelado em relação a outras universidades renomadas.

Desta forma, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Entender como a Engenharia Mecatrônica está integrada no ambiente do mundo disruptivo;
- Mostrar como a IoT é visto e trabalhado;
- Situar-se como a EESC trabalha o tema da IoT em seu campus;
- Buscar dados e informações sobre universidades de renome mundial e como elas trabalham a IoT;
- Fazer uma comparação entre a EESC e outras universidades;
- Propor ideias de projetos e mudanças para o desenvolvimento e formação de um estudante de Engenharia Mecatrônica na EESC.

1.3. Metodologia

Com o propósito de ter-se o melhor desempenho nos resultados e elaboração do estudo, além de conseguir atender os objetivos estabelecidos propõe-se o decorrente método:

- Revisão bibliográfica sobre mecatrônica: como ela foi vista ao longo do tempo desde seus primórdios até os dias de hoje e seus desafios;
- Revisão bibliográfica sobre internet das coisas: como ela vem sendo trabalhada atualmente e sua convergência com a mecatrônica;
- Levantamento de dados: pesquisa quantitativa e análise de dados de projetos e artigos produzidos no campus da EESC relacionados à IoT;
- Captação de dados: entendimento do movimento da IoT em universidades ao redor do mundo a fim de determinar aquelas de renome na área;
- Estudo de casos: entender, através de seus projetos, como cada uma das universidades escolhidas trabalham a IoT.

- Proposta de projetos: sugestão de ideias de projetos e mudanças possíveis de serem desenvolvidos dentro da universidade por alunos de bacharelado de engenharia mecatrônica.

2. MECATRÔNICA E SEUS DESAFIOS

2.1. Uma perspectiva histórica

Mecatrônica é um campo que vêm ganhando espaço no mundo científico e empresarial nos últimos 60 anos, cada vez mais mostrando sua importância em integrar diversos campos de estudo em um só, visando a otimização de processos, automação e solução de problemas. Introduzido por Tetsuo Mori na década de 60 enquanto trabalhava na companhia elétrica Yaskawa, mecatrônica foi definida primeiramente como:

O mundo, mecatrônica, é composto de “meca” de mecânica e “trônica” de eletrônica. Em outras palavras, tecnologias e desenvolvimento de produtos vão incorporar eletrônica cada vez mais e mais na mecânica, intimamente e organicamente, e fazendo ser impossível dizer onde uma começa e a outra termina.

(Traduzido pelo autor, BISHOP, 2017, p. 1-1).

Embora datada, a definição de Tetsuo da mecatrônica foi muito interessante para a época, pois possibilitou que o mundo tivesse uma nova visão da engenharia e começassem a trabalhar de forma mais integrada. Isto se deve, principalmente, ao fato de que na época tanto a indústria como o meio acadêmico foram forçados a explorarem mais a fundo componentes eletrônicos, como sensores, transistores e processadores, para se atingir maior acurácia no controle mecânico (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016).

Alguns anos mais tarde, na década de 80, com o advento e popularização de computadores assistidos e ferramentas de simulação a mecatrônica finalmente começou a receber mais visualização e, como pode ser visto nas Figs. 2.1 e 2.2, o número de artigos com os termos “mechatronic” e “mechatronics” começaram a crescer exponencialmente até meados dos anos 2000.

No decorrer desse tempo houveram várias mudanças de definições e tentativas de descrever melhor o que realmente é a mecatrônica. No começo dos anos 2000, Masayoshi Tomizuka a descreve como:

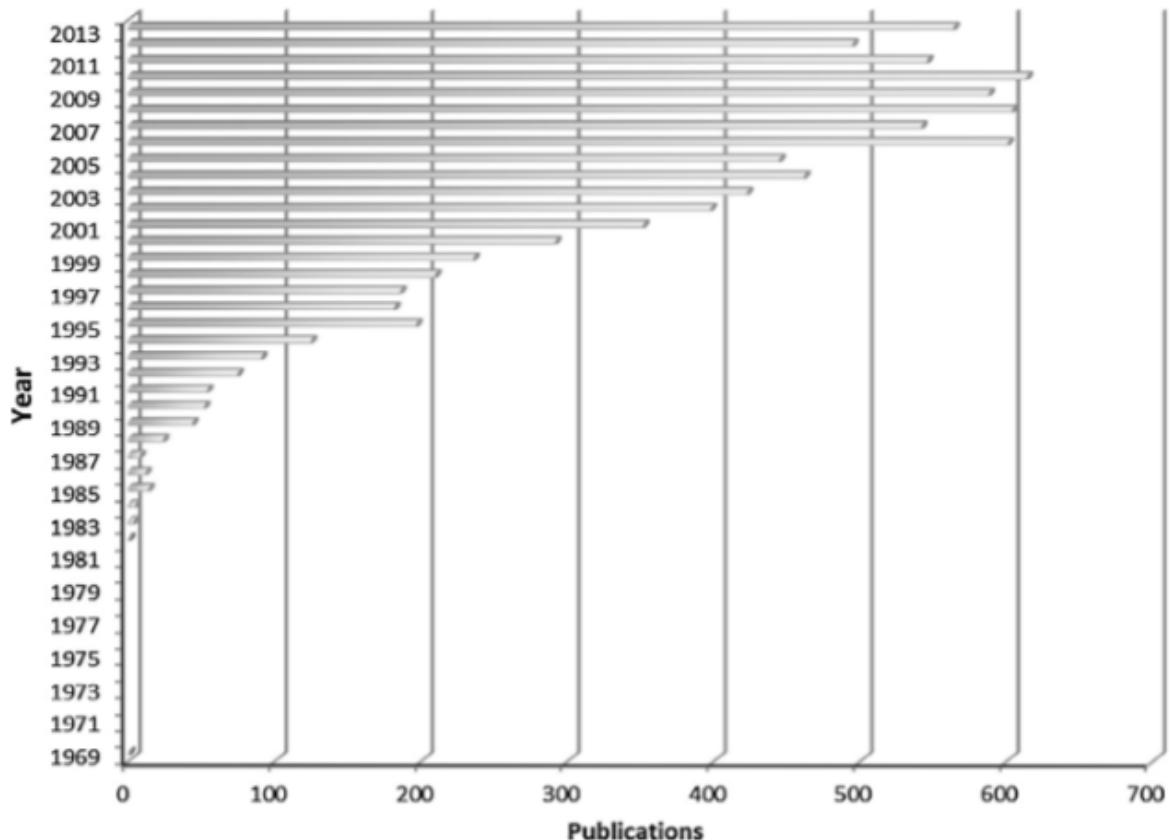
A integração sinérgica de sistemas físicos com tecnologia da informação (TI) e tomadas de decisões complexas no design, manufatura e operação de produtos e processos industriais.

(Traduzido pelo autor, TOMIZUKA, 2002, p. 1).

Esta definição de mecatrônica muito mais atualizada, começa a englobar não só a mecânica e a eletrônica como Tetsuo primeiramente definiu, mas também ciência da

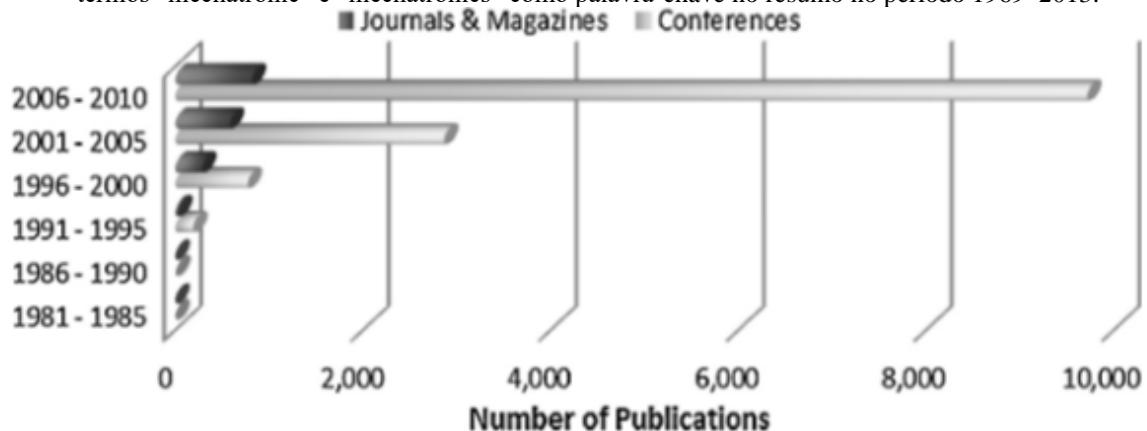
computação. Na qual mudou o horizonte da mecatrônica de uma estrutura conveniente de estudo acadêmico para um modo de vida da engenharia moderna (BISHOP, 2017).

Figura 2.1: Resultados de pesquisa no Google Scholar para artigos com um ou ambos os termos “mechatronic” e “mechatronics” no título no período 1969–2013.



Fonte: (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015)

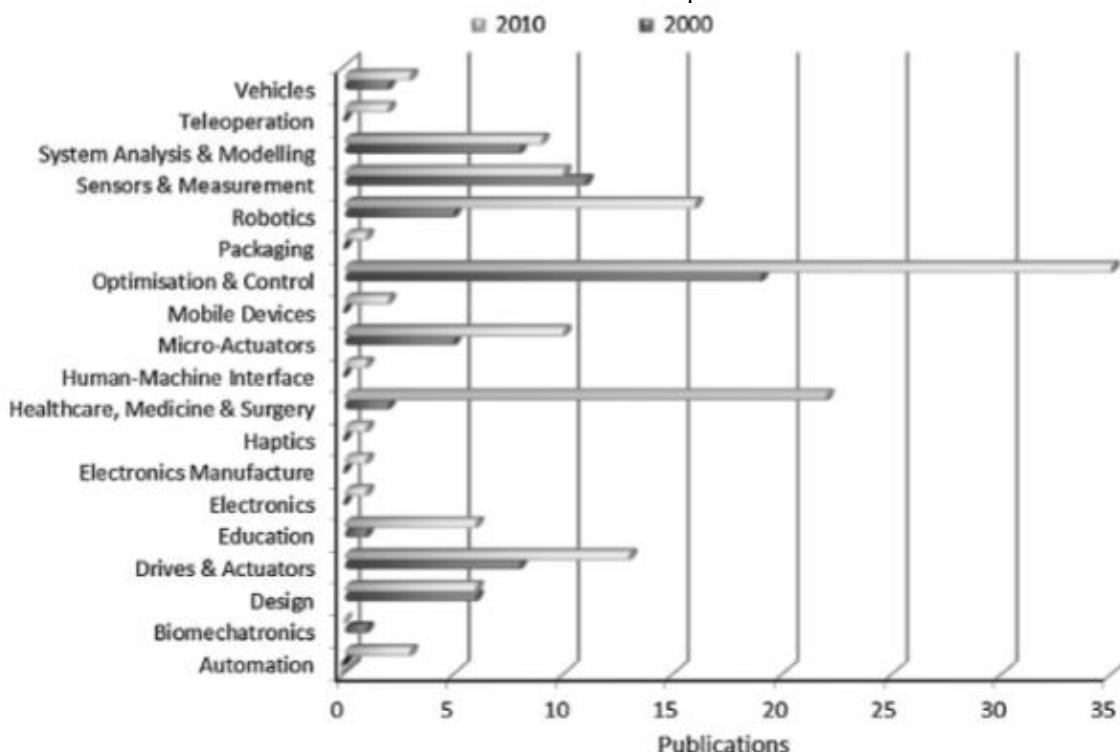
Figura 2.2: Resultados de pesquisa no Web of Knowledge e IEEE Xplore para artigos com um ou ambos os termos “mechatronic” e “mechatronics” como palavra-chave no resumo no período 1969–2013.



Fonte: (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015)

O desenvolvimento da ciência da computação e a integração com a mecatrônica trouxe para ela um panorama gigantesco de possibilidades, abrindo um leque de novas frentes de estudo. Exemplos dessas novas frentes podem ser vistos na Fig. 2.3 onde se vê que muitos temas até então não trabalhados começaram a ganhar força no campo da mecatrônica.

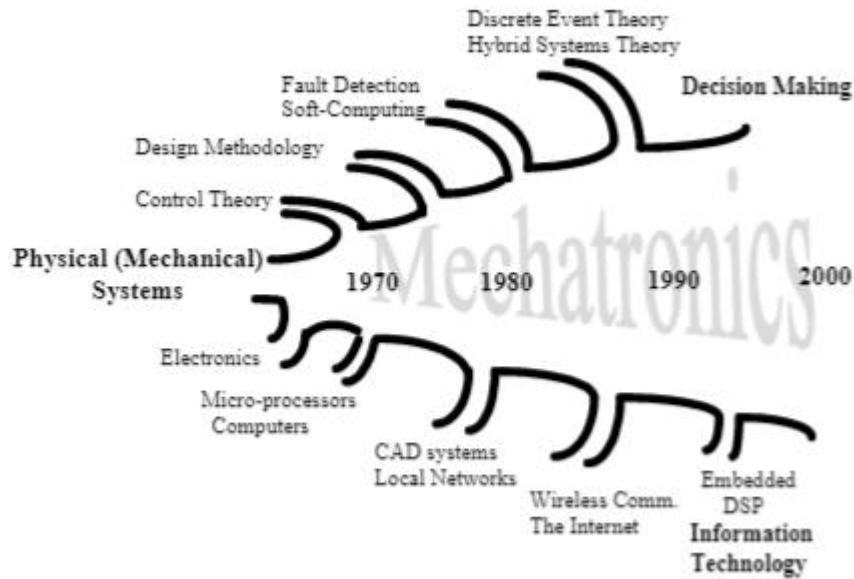
Figura 2.3: Resultados de pesquisa no *Web of Knowledge* e *IEEE Xplore* para artigos na área de assuntos derivados da mecatrônica como palavra-chave.



Fonte: (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015)

Com a ramificação de frentes de estudo, a mecatrônica começou a se tornar a vanguarda de pesquisas em variados campos, como transporte e biomedicina (TOMIZUKA, 2002), além de definir novas áreas de pesquisa, como sistemas cyber físicos, internet das coisas e big data (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016). A Fig. 2.4 nos mostra como o foco da mecatrônica se expandiu ao longo dos anos com os adventos e evoluções da mecânica, eletrônica, ciência da computação e tecnologia da informação até o século XXI. Além disso, nos demonstram como a mecatrônica está inserida em praticamente todas as formas de tecnologias desde as sustentadoras até as disruptivas atualmente, expondo o quanto importante ela está situada nos contextos industrial, acadêmico e empresarial como um todo.

Figura 2.4: Evolução da mecatrônica.



Fonte: (TOMIZUKA, 2002)

2.2. Uma perspectiva atual

Assim como a mecatrônica surgiu do aprofundamento da intimidade entre mecânica com eletrônica, no que é considerado como 3º Revolução Industrial, a mecatrônica também evolui, como mostrado, com a integração da ciência da computação e a tecnologia da informação em sua base, caracterizando a chamada 4º Revolução Industrial. Isso tudo, só foi possível graças ao desenvolvimento e popularização da internet no mundo e a grande disponibilização e disseminação de aparelhos capazes de acessá-los, dispositivos inteligentes, fazendo com que a obtenção de dados e informações crescesse sem precedentes. A Fig. 2.5 exibe como o número de aparelhos conectados veio crescendo ao longo dos anos.

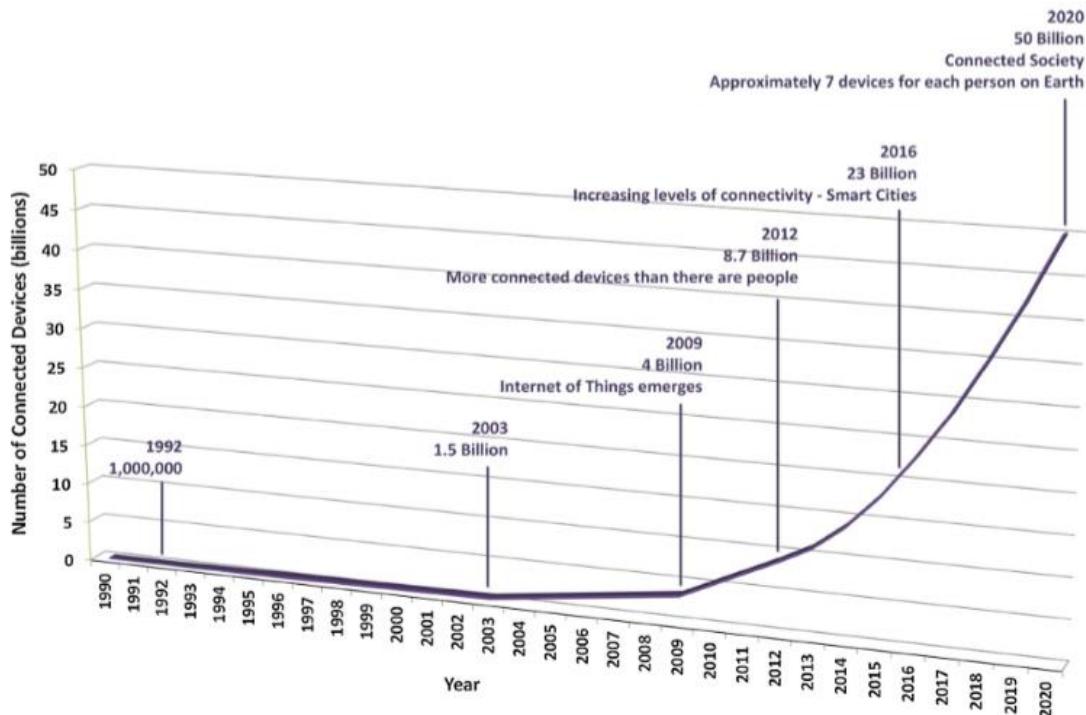
Este avanço no número de aparelhos conectados entre si, além da sofisticação dos mesmos com sistemas sofisticados integrados, como smartphones com câmeras de alta qualidade que filmam em 4k, que nem existiam a poucos anos atrás, geraram um aumento monstruoso de dados e informações (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016). Isso fez com que a definição de mundo VUCA, descrito a um pouco mais de três décadas atrás, finalmente tomasse forma e força na visão do mercado e de empresários. O mundo VUCA para uma visão mecatrônica pode ser, então, entendida como:

- Volatilidade: a gigantesca quantidade de informações alinhada com a conexão simples faz com que o desenvolvimento e geração de novas

tecnologias sejam cada vez mais ágeis gerando um volume de mudanças rápidas, sendo difícil prever cenários e produtos futuros.

- Incerteza: os dados atuais, embora abundantes, não são necessariamente úteis para entendermos as necessidades da realidade atual. As tecnologias disruptivas trazendo mudanças de paradigmas na sociedade geram uma imprevisibilidade do futuro.
- Complexidade: os aparelhos se conectando cada vez mais e mais, fazem com que a complexidade na determinação de riscos e possíveis problemas amplie, requerendo um domínio ainda maior da multidisciplinaridade devido ao aumento da interdependência dos fatores.
- Ambiguidade: os dados obtidos podem ser analisados e interpretados de várias formas diferentes, gerando a subjetividade no tratamento deles, visto que uma mudança disruptiva não pode usar como base histórica experiências anteriores.

Figura 2.5: Crescimento no número de aparelhos conectados.



Fonte: (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015)

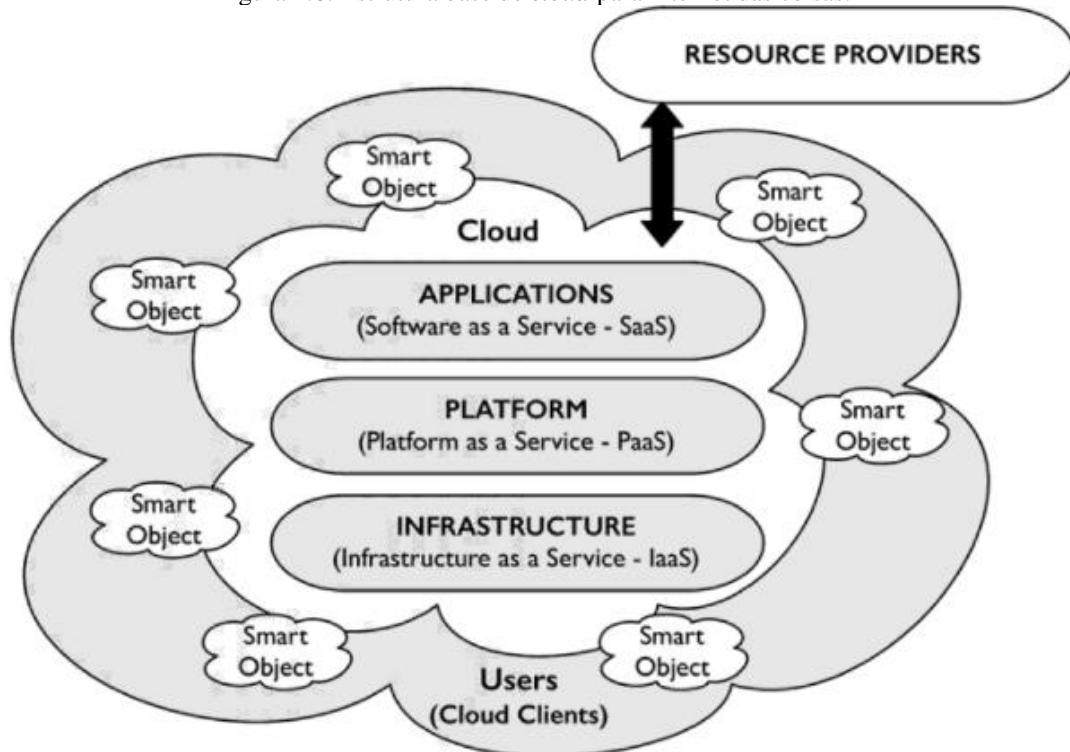
Todas essas mudanças rápidas de alta complexidade cercada de incerteza e subjetividade faz com que não só o mundo social e econômico, mas também o tecnológico da

mecatrônica se agarre no que se parece mais certo, as tecnologias disruptivas. Mesmo que desafiadoras nesse contexto mundial, elas têm mostrado uma alta relevância.

Exemplo disso, é exatamente o contexto atual que estamos vivendo do COVID-19. O alto grau de risco e incerteza do futuro elevam a complexidade na tomada de decisões devido um fator não esperado, o vírus, exigindo elevada adaptabilidade e rápidas mudanças. No entanto, mesmo nesse ambiente, até então novo, muito pode ser visto no investimento de soluções em *home office*, automação e interconectividade. E muito dessas soluções são desenvolvidas na dependência base de tecnologias como internet móvel, computação em *cloud*, internet das coisas, big data, automação de processos robóticos e outras.

Essa nova forma de se agir vislumbrada pela volatilidade atual aliada com a estrutura base de tecnologia de *cloud* dos dispositivos inteligentes, como ilustrado na Fig. 2.6, gera uma propagação de comercialização de produtos, mecatrônicos ou não, na forma de serviços, como descrito na Tabela 1. Esta nova perspectiva tecnológica envolvida intimamente com a sociedade e o mercado traz para o mundo da mecatrônica uma série de desafios, no qual um engenheiro formado na área tem de se atentar. Exigindo, assim, que um curso de bacharelado, como o fornecido pela EESC, proveja o necessário para preparar seus alunos a enfrentar tais desafios.

Figura 2.6: Estrutura base de *cloud* para internet das coisas.



Fonte: (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016)

Tabela 1: Formas de comercialização de serviços baseado em aplicações de *cloud*.

Serviço	Definição	Exemplos
Aplicações - <i>Software as a Service</i> (SaaS)	Forma de disponibilização de softwares e soluções tecnológicas por meio da internet como serviço. Eles são executados nos servidores e das empresas provedoras, oferecendo integração simplificada, conectividade simples e segurança de dados.	E-mail, calendário, Microsoft office, apps, jogos, sistemas em demanda...
Plataformas - <i>Platform as a Service</i> (PaaS)	Forma de disponibilização de plataformas de desenvolvimento de aplicação por meio da internet. Elas são executadas nos servidores das empresas provedoras, oferecendo um ambiente para construção e customização de aplicações, simplificando o desenvolvimento, testes e implementações.	Serviços Web, dashboards, ferramentas, BI, gerenciamento e operação em tempo real...
Infraestrutura - <i>Infrastructure as a Service</i> (IaaS)	Forma de disponibilização de infraestrutura de computação instantânea, provisionada e gerenciada pela internet. Oferecem espaços para servidores e data centers.	Amazon Web Service (AWS), Microsoft Azure, máquinas virtuais, conexões de rede, largura de banda larga, endereços de IP...

2.3. Desafios

Muito dos desafios e problemáticas que a atualidade traz para a mecatrônica nesse novo ambiente socioeconômico que estamos passando nos últimos anos tenta ser mapeado e discutido através dos Fóruns de Mecatrônica realizados ao redor do mundo. Em 2014, na 14^a edição do “*Mechatronics Forum International Conference*” ocorrido na Universidade Karlstad, na Suécia, foi perguntado aos seus participantes quais as questões mais desafiadoras que eles acreditavam que enfrentariam nos próximos anos (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016). Olhando de perto algumas das respostas escritas na conferência, summarizados na Tabela 2, e o já descrito até aqui podemos traçar que alguns dos maiores desafios esperados pelos mecatrônicos estão relacionados aos temas de:

- Design;
- Educação;
- Experiência dos usuários;
- Privacidade e Segurança;
- Sustentabilidade.

Tabela 2: Algumas respostas dos participantes da 14^a edição do “*Mechatronics Forum International Conference*” sobre as questões mais desafiadoras para a mecatrônica.

Respostas
Gerenciamento da complexidade e comunicação entre membro de um time de design.
A crença de que a Internet das Coisas "cabe em tudo", e a consequência perda de excelência e inovação.
Desenvolvimento e implementação de ferramentas de design avançadas capazes de atingir altos leveis de complexidade.
Lidar com o grande número de pequenos componentes embarcados em tudo que existe.
Alcançar a integração de desempenho com tecnologias de comunicação em sistemas inteligentes a um preço acessível para aplicações universalmente.
A fabricação de sistemas eletrônicos completos e estruturas mecânicas a partir de um único processo para criar um sistema mecatrônico.
Desenvolvimento de sistemas para melhorar a autonomia dos usuários em face ao uso de Big Data no suporte e facilidade ao "início do autoritarismo".
Gerenciamento da massa, para a proteção do abuso, mau uso e investigação tal como eventos "post-hoc", que ainda não têm solução.
Prover sistemas mecatrônicos como um senso comum, para facilitar a interação humana.
Socialização profundamente incorporada.
Ensinar futuros engenheiros a melhor entender e lidar com a complexidade da perspectiva do usuário.
Ter certeza de que a mecatrônica é propriamente entendida e apreciada para a contribuição da vida diária.
Lidar com a idade populacional.
Construir resiliência para a mudança climática.
Prover serviços personalizados para as pessoas afim de melhorar a qualidade de vida delas enquanto mascará a complexidade da tecnologia.
Desenvolver próteses neurais e implantes para combater doenças degenerativas e a queda da cognição geral do idoso.
Implementar robustas interfaces de usuário capazes de se adaptar ao indivíduo.
Como recursos naturais são finitos, então usá-los e reusá-los economicamente.
Como garantir acesso seguro e robusto na requisição de informações o tempo todo.
Educar as futuras gerações de engenheiros em uma abordagem inovadora para resolução de problemas.

Fonte: (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016) (Traduzido pelo autor)

2.3.1. Design

Assim como a engenharia mecatrônica veio evoluindo ao longo dos anos, o design de produtos não ficou para trás e se otimizou com o tempo. Como um dos poucos elementos que podem ser vistos como parte de todos os temas abordados pela mecatrônica, o design é essencial para a formação dos profissionais da área, visto que suporta os diversos conceitos e

fatores que a mecatrônica exige, integrando-as em uma finalidade e objetivos mais concisos (BRADLEY, 2004).

Entendendo que o design é intrinsecamente ligado a forma de desenvolvimento de projetos/produtos devido seu fator de integração de diversos temas ao definir objetivos e finalidade do projeto em si, percebemos que as formas de desenvolvimento estão atualmente passando de um popular método linear de cascata, que ainda é muito utilizado nos dias de hoje e a mecatrônica à utiliza com muito vigor, para métodos de ciclos rápidos chamados de *Agile*.

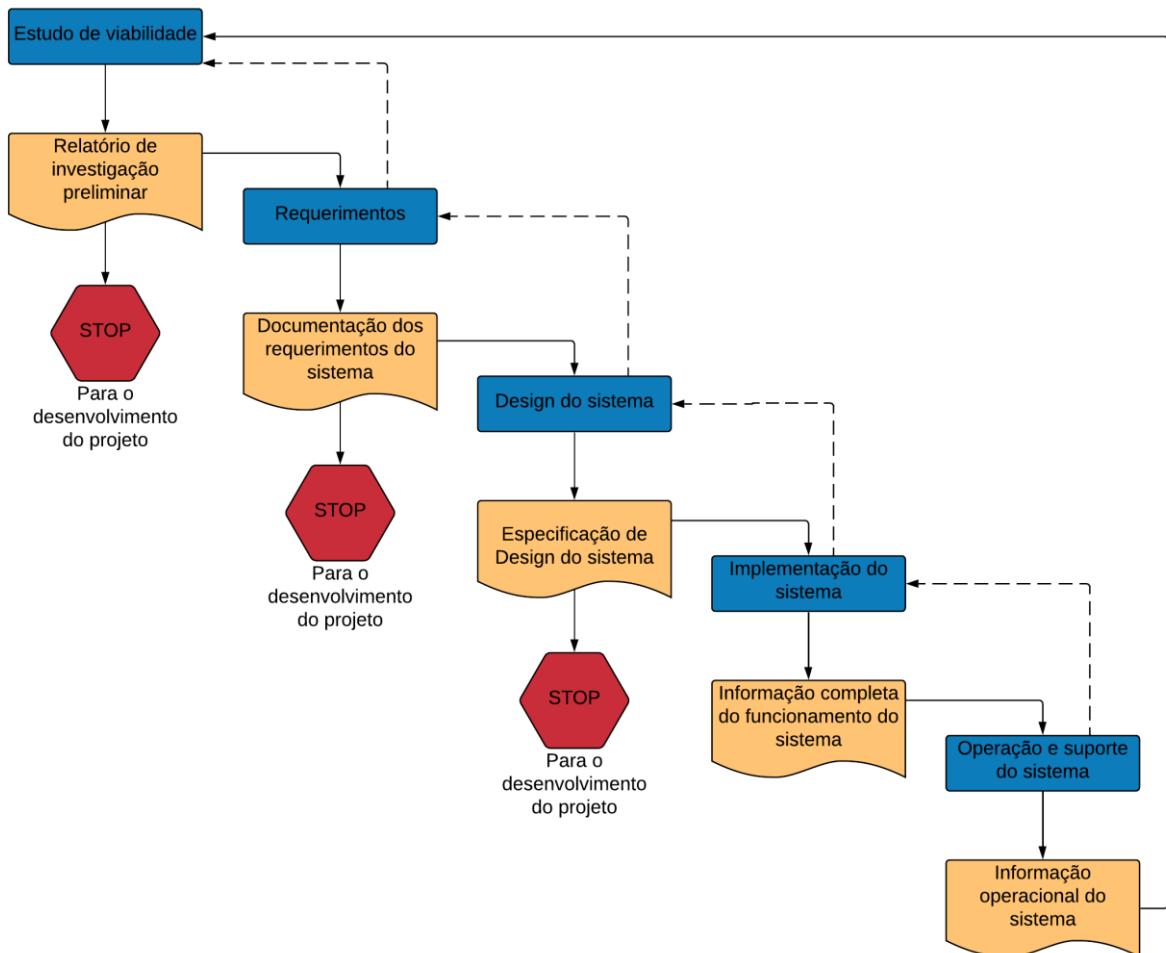
O modelo de cascata elaborado pelo Winston W. Royce in 1970, nasceu com o objetivo de simplificar e otimizar os processos de desenvolvimento de produtos. Ilustrado na figura 2.7, o método tem a forma de uma cascata devido cada fase ser independente entre si, mas começar apenas após a finalização da fase anterior, o que é bem parecido com a cascata de uma cachoeira, daí seu nome (MCCORMICK, 2012). Divido em 5 fases o modelo segue um fluxo linear de desenvolvimento podendo ser otimizado em cada uma das fases, assim como, apresentar uma grande vantagem ao se ter um escopo bem definido.

No entanto, apesar de seu sucesso até os dias atuais, o modelo de cascata apresenta uma série de problemas na prática. Alguns exemplos disso são: a dificuldade de retorno para fases anteriores para correção de problemas, o gasto do tempo para garantia da execução correta de cada fase, o não vislumbre do produto final até as fases finais do projeto por parte dos investidores e a mascaração de riscos em cada fase. Evidenciando-nos, assim, que, “o modelo em cascata não foi elaborado para lidar com mudanças” (DIAS, 2019), que é exatamente o que o mundo VUCA e as tecnologias disruptivas trazem em seu âmago.

O que evidencia um desafio atual para a engenharia em si, visto que ela vem utilizando como método de design uma aproximação de modelo em V, figura 2.8, para o ciclo de vida no desenvolvimento de produtos (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016). O modelo em V, basicamente é um típico método linear de cascata com mais fases, onde se tenta minimizar a falha da reatividade do método original colocando-se em cada uma das fases um teste de verificação e validação correspondente para se atingir o objetivo.

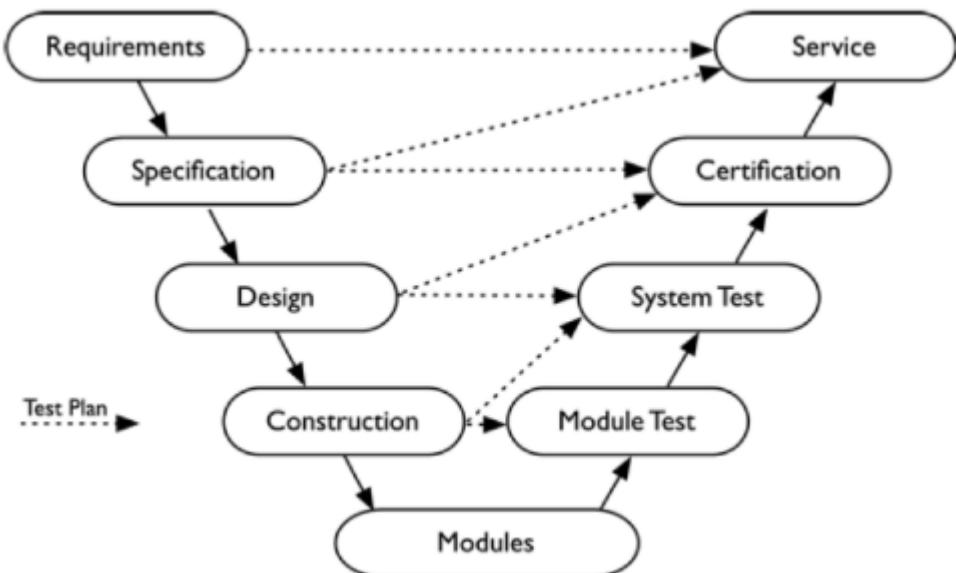
Embora tenha-se tido essa evolução no modelo tentando minimizar as falhas do método de cascata, o mercado e o mundo continuam se acelerando e tendo mudanças cada vez mais rápidas. O mundo VUCA e a IoT exigem que os produtos sejam dinâmicos, se adaptando aos novos cenários, ambientes, pessoas e usuários. Percebendo-se esse dinamismo o mercado viu que o método em cascata já não conseguia atender a vários requisitos exigidos, elaborando um novo método chamado de *Agile*.

Figura 2.7: Ilustração do modelo em cascata.



Fonte: (MCCORMICK, 2012)(Traduzido pelo autor).

Figura 2.8: Modelo de desenvolvimento em V.

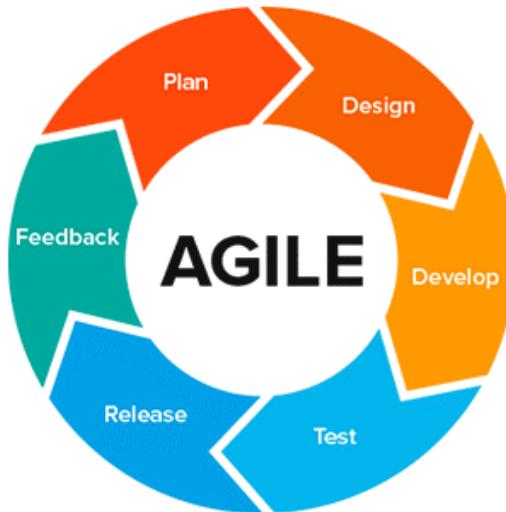


Fonte: (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016).

O *Agile* é um método baseado num progresso interativo e incremental, visando, como principal, atingir a satisfação final do cliente ao alcançar, da melhor forma, os objetivos do projeto, através de entregas rápidas e contínuas de produtos viáveis desde o seu começo ao percorrer todo o ciclo, como ilustrado na Fig. 2.9 (MCCORMICK, 2012). Sendo que cada ciclo é uma fase do projeto, que pode ser realizada uma quantidade suficiente de vezes para se atingir a satisfação excelente do produto. Podemos, também, inclusive, traçar um paralelo com a mecatrônica no sentido de que o método se utiliza de retroalimentação (*feedbacks*) para o controle e otimização do sistema.

Logicamente cada projeto apresenta requisitos e propriedades únicas, sendo necessárias entender-las para a seleção do melhor modelo de desenvolvimento de design. No caso da internet das coisas, o desafio de design vai além de se mudar de um método linear de cascata para um método *Agile*. O dinamismo dos aparelhos inteligentes, na qual os usuários especificam as funções do sistema ao configurá-los através de componentes de dados da nuvem, se torna uma comodidade que é determinada pelo contexto de cada pessoa. Exigindo que os engenheiros pensem e providencie ferramentas que explorem esse dinamismo desde as fases iniciais do projeto e acabe por integrá-las, apropriadamente, nas funcionalidades do aparelho (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016).

Figura 2.9: Modelo de desenvolvimento *Agile*.



Fonte: (IDDO, 2019).

2.3.2. Educação

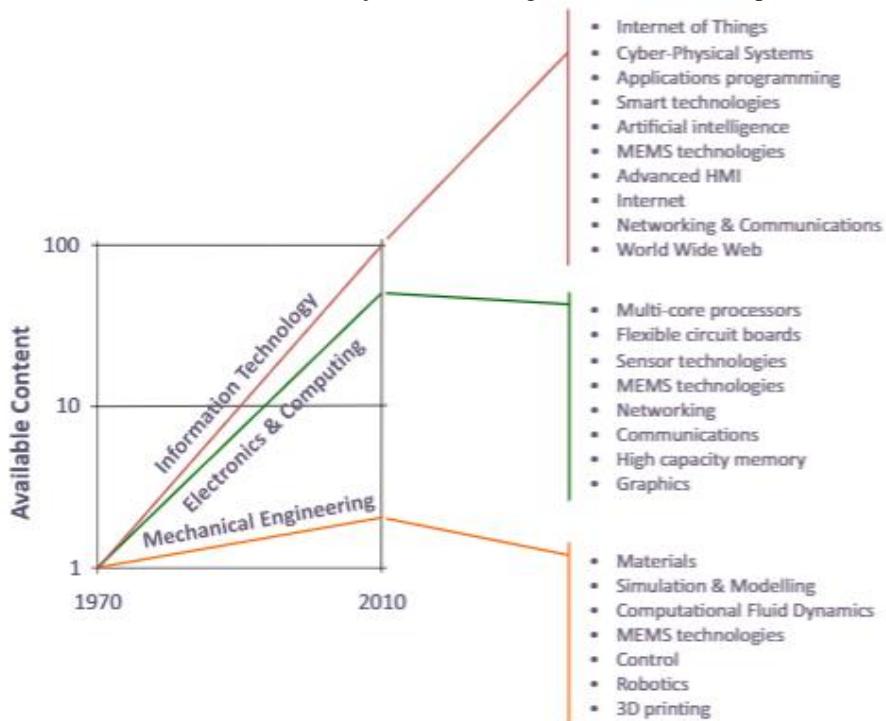
O meio acadêmico veio buscando ao longo dos anos sempre realizar uma apropriada mescla de ensino técnico de disciplinas de mecânica, eletrônica e tecnologia da informação

(BRADLEY e HEHENBERGER, 2016). Assim como evidenciado na figura 2.10, a evolução da mecatrônica em diversos campos cresceu fazendo com que o ensino da mesma ficasse cada vez mais complexo, na qual um educador da área acabe por ter que se atentar a vários detalhes.

Embora tais disciplinas, citadas no parágrafo anterior, sejam o núcleo da mecatrônica é necessário perceber que ela aborda uma série de domínios tecnológicos, figura 2.11, que não atuam em isolado (BRADLEY, 2004). Isso nos traz uma visão holística do design da mecatrônica, mostrando a influência de variados fatores que podem e têm que ser considerados no desenvolvimento de um produto, sendo um engenheiro responsável por as dominar.

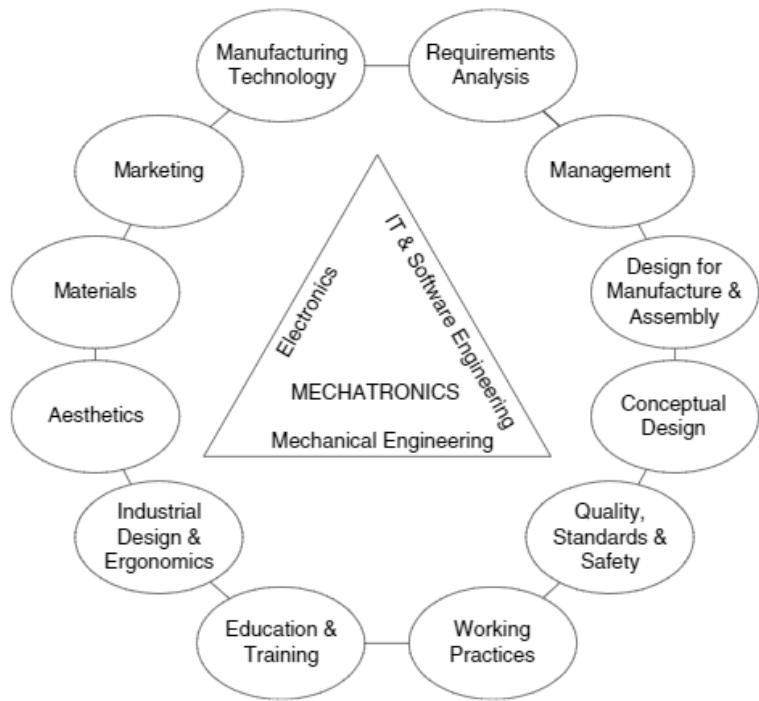
Com esse aspecto, o ensino da engenharia mecatrônica busca a integração de diversas tecnologias, tentando trazer uma postura versátil ao curso ao abordar uma grande amplitude de conhecimentos, sem deixar de lado o aprofundamento de conhecimento de áreas específicas. Trazendo, assim, o desafio de balanceamento apropriado da concepção de como o ensino da mecatrônica tem que abordar tanto o amplo quanto o específico. Tal problemática é ilustrado na Fig. 2.12.

Figura 2.10: Desenvolvimento e diversificação das tecnologias mecatrônicas no período de 1970-2010.



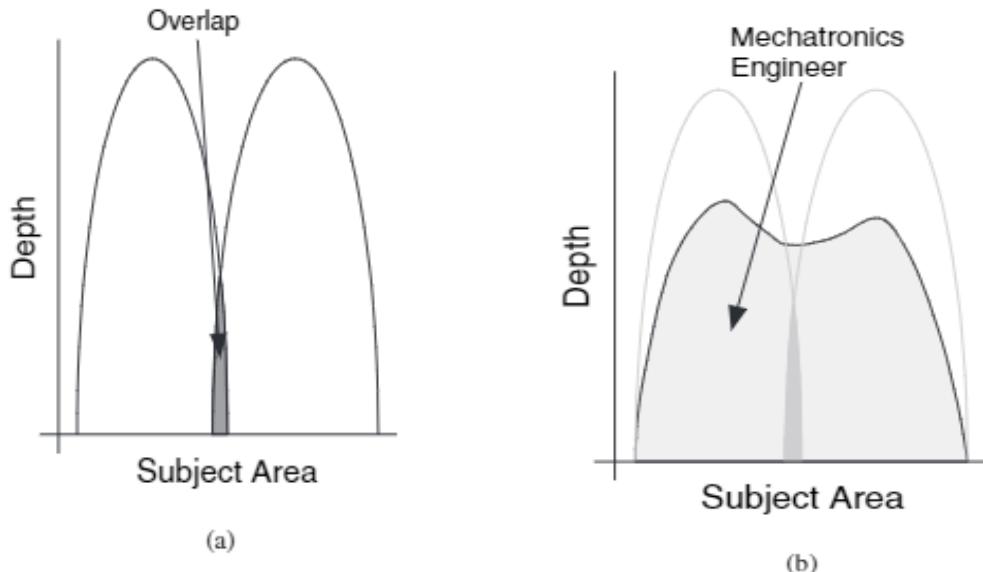
Fonte: (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015)

Figura 2.11: Tecnologias mecatrônicas e domínios relacionados.



Fonte: (BRADLEY, 2004).

Figura 2.12: Balanço técnico de educação. (a) Educação especializada; (b) Educação da mecatrônica.



Fonte: (BRADLEY, 2004).

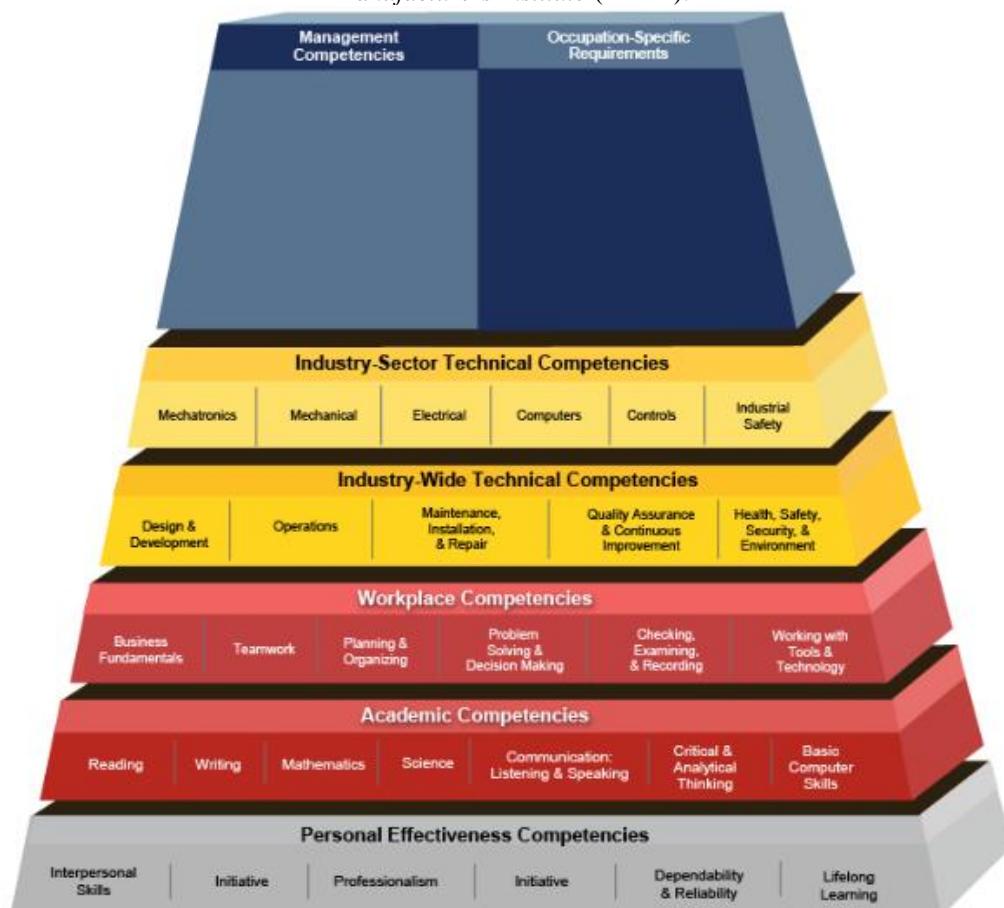
Simultaneamente, a academia também concentra seus esforços em desenvolver engenheiros com múltiplas habilidades exigidas na própria academia, indústria, mercado e tecnologia. Como Bradley elenca em 2015, no final no século XX engenheiros graduados apresentam uma série de fraquezas em diversas habilidades. Algumas delas são: arrogância técnica, falta de criatividade, de comunicação, de visão crítica e de experiência em equipe.

Mostrando um desafio para academia de como suprir seus graduandos também com tais habilidades.

Com o objetivo de mapear tais habilidades fundamentais para um graduando em mecatrônica e parear com o esperado da realidade o “*Packaging Machinery Manufacturers Institute (PMMI)*” elaborou um modelo de competências essenciais de um mecatrônico, ilustrado na figura 2.13 (JOVANOVIC, VERMA e TOMOVIC, 2013). Podemos, com o modelo, observar a grande esfera de valências que todo engenheiro mecatrônico tem que apresentar ao sair da faculdade.

Não parando por aí, a rápida globalização de informações elencada no século XXI traz ainda mais complexidade no ensino da mecatrônica. Além da gestão e balanceamento de conteúdo e das competências a serem repassadas, professores do meio acadêmico se vêm envoltos por novas metodologias e fatores de ensino. A tabela 3, mostra diferentes elementos que devem ser levados em conta atualmente nas formas de como atingir alunos de graduação, trazendo a possibilidade de abordagens mais inovadoras no quesito de ensino do curso.

Figura 2.13: Habilidades essenciais de um engenheiro mecatrônico na visão do *Packaging Machinery Manufacturers Institute (PMMI)*.



Fonte: (JOVANOVIC, VERMA e TOMOVIC, 2013).

Tabela 3: Fatores adicionais a serem levados em consideração ao ensino.

Transferência de conhecimento	Problemas estruturais
<ul style="list-style-type: none"> • Cursos online massivos; • Tutoria e oficinas; • Aprendizado híbrido (multicanais); • Impacto das mídias sociais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos de distribuição do aprendizado; • Valor temporal dos conteúdos; • Trabalho colaborativo.

Fonte: (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016) (Traduzido pelo autor).

2.3.3. Experiência dos usuários

Assim como o design e a educação a experiência dos usuários veio ganhando cada vez mais espaço e importância ao se desenvolver um produto e /ou serviço. Com a tecnologia se expandindo rapidamente e criando múltiplas oportunidades de negócios gerou-se vários nichos de usuários com demandas cada vez mais sofisticadas, na qual um produto ou serviços padrões não satisfazem mais, por si próprios, o mercado (MACARTHUR, 2007).

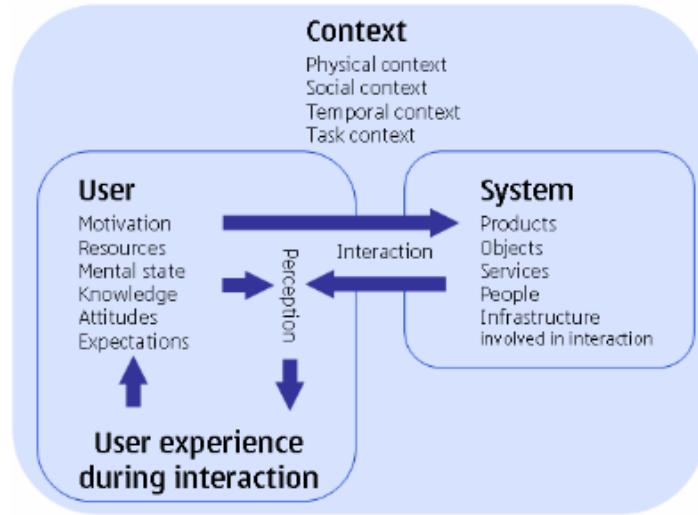
Como Hanssennahl evidencia várias vezes em seu relato sobre *User Experience and Experience Design*, em 2011, “um produto é interessante, apenas, quando identificado como sendo crucial em criar uma experiência”. Desafiando um engenheiro projetista no design e interação do seu produto ao fazê-lo sair da estética das “coisas” para a estética da experiência.

Um ótimo exemplo de como a experiência é trabalhada e evidência seu alto valor na concepção de um serviço é o filme “A fantástica fábrica de chocolate”, na qual Charlie, o protagonista, prefere trocar o ticket dourado em um tour na fábrica de chocolate em vez de dinheiro por melhores condições de vida, mesmo que passasse por claras necessidades básicas para sua sobrevivência. Mostrando como muitas vezes uma experiência traz consigo mais valor agregado em um produto/serviço do que o “material” em si.

Isso nos traz a visão de que a experiência do usuário (UX), em um sistema geral, envolve a interação de um usuário com um produto, levando em consideração vários fatores contextuais do ambiente e do usuário, evidenciados na figura 2.14, expondo com isso uma relevância para o utilizador ao envolver-lo em emoções, sentimentos, confiança, estética, comportamento, entretenimento e muitos outros (MACARTHUR, 2007; ROTO 2007).

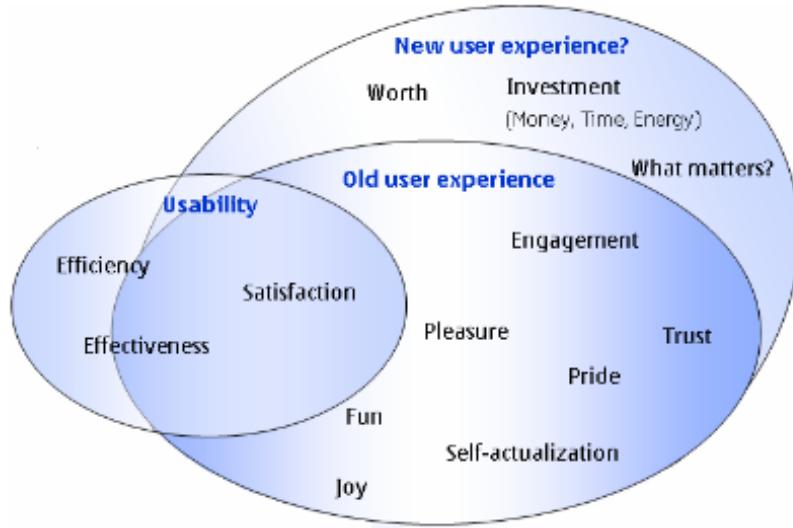
Enquanto os componentes tecnológicos exigem um design de metodologia ágil, como evidenciado em tópico anterior, o UX consiste em trazer mais, como prazer e alegria, através de um design centrado no valor (ROTO, 2007). A figura 2.15 mostra tal escopo a ser levado em consideração, se baseando nos elementos da tabela 4 como referência.

Figura 2.14: Fatores na interação em UX.



Fonte: (ROTO, 2007)

Figura 2.15: Escopo para design de UX.



Fonte: (ROTO, 2007)

Tabela 4: Elementos base para UX.

Utilidade	O produto serve ao seu propósito.
Usabilidade	Facilidade no uso do produto.
Satisfação	O design e interação é satisfatório.
Orgulho	O usuário fica orgulhoso quanto ao produto.

Fonte: (ROTO, 2007) (Traduzido pelo Autor).

Com o demonstrado acima conseguimos traçar um paralelo com alguns produtos e serviços que ganharam força por estarem focados em sua experiência, mesmo que sua funcionalidade fosse igual aos dos demais concorrentes. O “Iphone”, por exemplo, quando

lançado revolucionou o mercado trazendo novos paradigmas para smartphones por ter, além de conseguido juntar várias tecnologias em um só lugar, criou em torno de si uma “necessidade” nas pessoas de se ter o aparelho. Outro exemplo é a mudança de modelos que o carro sofreu durante sua história. Saindo do conceito básico de facilitar o transporte de pessoas e cargas, hoje ele traz consigo um pacote gigantesco de experiência que é exigido por seus usuários, alguns destes elementos são: bancos confortáveis, espaço para as pernas, câmbio automático, direção hidráulica, freio ABS, ar condicionado, rádio e muito mais.

Transpondo tais conceitos e exemplos de experiência do usuário às tecnologias disruptivas, vemos um grande desafio para sua projeção na questão de UX devido sua alta granularidade de possibilidades, elevando a complexidade do design e, consequentemente, o vislumbre de suas interações com os usuários. A medida que os sistemas ficam cada vez mais autônomos é difícil imaginar, em seu todo, como podem elevar e ampliar sua experiência para os diversos públicos existentes levando em considerações fatores como idade, cultura, ética, escolaridade, meio ambiente, sustentabilidade, privacidade, segurança e muitos outros (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016).

2.3.4. Privacidade e Segurança

Ao mesmo tempo que temos um vislumbre do futuro com designs inovadores, educação de qualidade e experiências majestosas, também possuímos um grave problema de privacidade e segurança. O desenvolvimento e popularização de produtos tecnológicos integrados como a IoT e dispositivos inteligentes, que nos disponibilizam todas as vantagens de personalização, interatividade, experiência, comunicação, etc., é proporcionado graças ao recolhimento massivo de informações do ambiente em que os aparelhos estão inseridos e de seus usuários. Nos trazendo uma questão bastante tênu: “Quando o recolhimento de informações de um usuário passa de uma abordagem de funcionalidade e customização para espionagem e roubo de privacidade?”.

Um engenheiro ao desenvolver tais tecnologia se vê frente a uma questão ainda muito nova e árdua, visto que o recolhimento e utilização de dados do usuário são essenciais para o funcionamento correto do produto. Muito do que se pode fazer hoje em dia é apenas avaliar e balancear o benefício e malefício de se extrair tais dados, mostrando que se têm muito ainda para a mecatrônica se desenvolver neste assunto (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016). A tabela 5 traz o estudo da *Information System Audit and Control Association (ISACA)* sobre

alguns dos malefícios mais comuns de empresas de tecnologia que trabalham com uma elevada base de dados de usuários.

Pela tabela podemos ver que alguns dos problemas mais vistos em sistemas tecnológicos são relacionados, justamente, com a segurança de recolhimento e tratamento de dados. Podendo, com isso, prejudicar de múltiplas formas os usuários, o *Federal Trade Comission* de janeiro de 2015, elenca alguns destes riscos:

- Permissão de acesso e uso indevido de informações de usuário;
- Facilidade de ataques em múltiplos sistemas;
- Riscos físicos e mentais de segurança;

Tabela 5: Ameaças percebidas pela ISACA na segurança dos sistemas.

Ameaça	Probabilidade (%)
Vazamento de informações	17
Erro de funcionário	16
Incidentes do dispositivo do funcionário	13
Computação em <i>Cloud</i>	11
Ataque Cibernético	7
Funcionário descontente	5
Hackeamento externo	5
Todos acima	19
Nenhum acima	8

Fonte: (BRADLEY e HEHENBERGER, 2016) (Traduzido pelo autor).

Evidenciando a brecha que, não só os engenheiros, mas também as empresas e até os usuários têm de se atentar quanto a segurança e privacidade de informações. Felizmente, algumas medidas para ajudar a população e controlar o recolhimento abusivo de informações já vem sendo implementadas. Exemplo disso é a *General Data Protection Regulation (GDPR)* implementada na Europa e a recente Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) que atualmente está entrando em vigor no Brasil. Ambas apresentam o mesmo conceito, exigindo que todo dado recolhido, virtualmente ou não, seja justificado pelas empresas ou pessoas que o levantam, sendo obrigatório a emissão de uma permissão para tal por parte dos usuários (BRASIL, 2018).

2.3.5. Sustentabilidade

Muito em pauta nos dias de hoje, o conceito de sustentabilidade surgiu após a segunda guerra mundial, onde o mundo começou a presenciar as consequências da transformação tecnológica que o planeta passou. Abrindo-se os olhos para as mudanças

climáticas causadas pela evolução desenfreada da tecnologia desde a 1ª Revolução Industrial, os governos começaram a debater sobre o tema e se planejarem para o futuro iminente através de conferências, tratados e acordos, que participam um grande número de países.

Uma das conferências mais recentes foi a Rio +20, realizada em 2012 no Brasil, que contou com mais de 189 países. Nela foi elaborado uma declaração intitulada “O futuro que queremos”, que elenca a importância da tecnologia para a superação dos eventos climáticos que estão por vir. Visando muito o desenvolvimento sustentável, através da economia verde, e erradicação da pobreza, a declaração foca principalmente em serviços e tecnologias da informação, comunicação e digital, que estão arraigadas as tecnologias disruptivas da atualidade, e que contribuem para um futuro mais limpo.

O que traz um grande peso não só para as novas tecnologias, mas também aos engenheiros e, consequentemente, mecatrônicos, quanto ao futuro do planeta. Muito se é esperado que, num contexto geral, eles diminuam o impacto do homem na natureza sem que deixemos nosso estilo de vida, um tanto quanto, capitalista.

Uma análise feita em 2012 pela *Royal Academy of Engineering* da Inglaterra em sua publicação “*Smart infrastructure: the future*” mostra o que se espera de uma sociedade “inteligente” do futuro. Focados no desenvolvimento de infraestrutura inteligente centrada no homem, o artigo expõe alguns exemplos e desafios de como a tecnologia, salientado principalmente nos mesmos conceitos da IoT (dado, análise, *feedback* e adaptabilidade), deverá ser implementada no futuro, em áreas como:

- Utilidade Pública;
- Energia;
- Água;
- Transporte;
- Comunicação;
- Meio Ambiente e Urbano.

Cada qual com seus respectivos problemas e desafios ambientais as infraestruturas, assim como a mentalidade cultural das pessoas, precisam ser trabalhadas de forma a diminuir os gastos exacerbados de recursos naturais (água, energia, combustíveis, florestas, etc.) e evitar riscos ambientais a partir da mudança de uma abordagem reativa para uma prescritiva e preditiva. Na qual, conseguimos através de dados estruturados e integrados advindos de todos

os meios inimagináveis, até então, saber não só o que está por vir, mas também encontrar o melhor plano de ação de formas cada vez mais “automatizadas”.

3. INTERNET DAS COISAS (IOT)

3.1. Introdução da Internet das Coisas

Como citado nas seções anteriores, o mundo vem sofrendo uma transformação, disruptão, drástica de um hemisfério majoritariamente físico para um envolvido e abraçado, quase que totalmente, por sistemas de informação. O que é interessante nessa mudança é que grande parte do sistema físico está passando a ser entregue e implementada sem a intervenção humana. Tudo isso graças aos avanços de tecnologias de *networking* e padronização de protocolos de comunicação, além, é claro, do aumento significativo de aparelhos conectados a essas redes, vide figura 2.5, fazendo com que a coleta de dados se torne cada vez mais fácil e constante (CHUI, LÖFFLER e ROBERTS, 2010).

Máquinas, chips, estruturas, infraestruturas, eletrodomésticos, móveis, aparelhos, dispositivos e muitos outros estão não só servindo para seu propósito prévio, mas também sendo equipados com sensores e atuadores capazes de monitorar seus arredores, reportar status, receber instruções e tomar decisões por conta própria (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013). Auxiliando tal movimento, a miniaturização cada vez maior destes sensores e atuadores aliada com ganho de capacidade, redução de seus custos, além do aumento massivo de possibilidade de armazenamento de dados e poder de processamento, muito arraigada a computação pela nuvem, tornam o número de análises em larga escala possível e em um custo decrescente (CHUI, LÖFFLER e ROBERTS, 2010).

O que corrobora totalmente, em uma visão econômica, que o objetivo da tecnologia seja a coleta e análise de informação a partir do ambiente humano afim do desenvolvimento de uma economia circular, aumento de receitas, diminuição de gastos e melhora de serviços (ROBLEK, MEŠKO e KRAPEŽ, 2016).

Um bom conceito que exemplifica isto são os sistemas baseados em computação em cloud que tratam a informação como comódites, ilustrado na figura 2.6, nas quais o valor é determinado pelos usuários ou por captação de dados do ambiente, permitindo uma “negociação” entre os componentes e o que é requisitado, modelando-se, assim, o que seria o pilar da Internet das Coisas (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015). Considere o seguinte caso como ilustração:

“Uma pessoa tem uma reunião de manhã e precisa pegar o metrô mais cedo do que de costume. Então ela coloca um despertador para tocar de acordo. O que é detectado pelo sistema de aquecimento que determina, autonomamente, a hora em que deve ligar

e em quais salas, ao utilizar dados de referência de sensores externos e da estação meteorológica local. No entanto, durante a noite um acidente de trânsito ocorre gerando atraso nas linhas de metrô. Ao ser identificado tal problema, em tempo real, o despertador e sistema de aquecimento autonomamente se ajustam para se iniciarem mais cedo. Ao mesmo tempo, uma nova rota, evitando o acidente, é carregada no sistema de navegação do carro. Ao acordar, há uma mensagem de texto explicando por que o horário de alarme foi mudado e uma atualização sobre a situação de trânsito”.

(BRADLEY, RUSSEL, *et al*, 2015, p. 3) (Traduzido pelo autor).

Aqui as informações sobre a situação foram dadas, ambas, pelo contexto e pelo valor imposto pelo usuário. Sendo que, o próprio sistema analisou os requisitos, recolheu dados, averiguou a situação e contexto e tomou uma decisão, tudo por conta própria. Tal ação só foi possível graças à IoT usar um sistema de retroalimentação de informações inteligente. Possibilitando-o monitorar, mensurar, analisar, comunicar e agir baseado em elementos capturados por sensores. Posto que, a inteligência advém do uso oportuno de informações no momento e locais certos, para que as decisões tomadas possam ter alta acurácia (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2012).

3.2. Definições

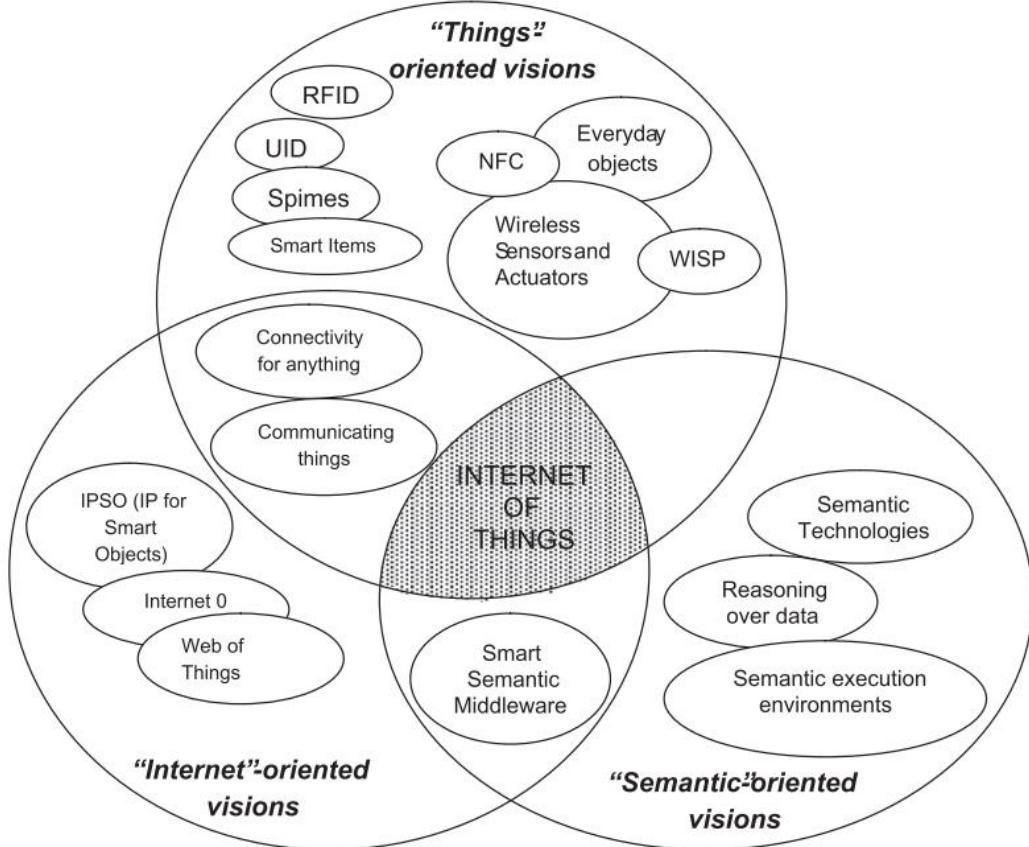
Com isso é importante definirmos, mesmo que minimamente, o que é a internet das coisas, já que ela é extremamente multifacetária podendo gerar muitas interpretações e visões diferentes, onde nenhuma está errada, mas acabam que se complementam gerando um ecossistema complexo e amplo. A figura 3.1 esquematiza alguns conceitos, tecnologias e padrões em um biossistema com referência às visões da IoT que melhor contribuem para a caracterizar (ATZORI, IERA e MORABITO, 2010).

Uma interpretação interessante é a de Ray que em seu artigo “*A survey on Internet of Things architectures*” de 2016 considera a IoT como “Uma infraestrutura global para a informação da sociedade, permitindo serviços avançados interconectando coisas (físicas e virtuais), existentes ou em evolução, com base em tecnologias da informação e comunicação interoperável” (Traduzido pelo autor). O que caracteriza bem a internet das coisas, ainda mais se adicionarmos ao conceito a autonomia na tomada de decisões destas infraestruturas, que é fator indispensável para a IoT.

A começar disso podemos traçar três linhas básicas de ação da internet das coisas: captura de dados pelo objeto, integração da informação na rede e ação baseada nessa

informação (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013). A Fig. 3.2 ilustra a estrutura de um sistema básico particionado nestas três linhas para a IoT. A primeira coisa que percebemos é a interação do usuário em todas as etapas do esquema, mesmo que passivamente, visto que todo o complexo é feito para, de modo personalizado, atende-lo. No primeiro bloco temos a captura de dados através de sensores, por exemplo. No segundo o processamento dos dados capturados e sua integração com dados advindos de outros objetos acessíveis na rede, modelando-os de acordo com o contexto do usuário. Já no último bloco temos a aplicação das ações e, consequentemente, análise de se ela cumpriu seu objetivo, num sistema similar de retroalimentação, no qual o usuário faz parte do *feedback*.

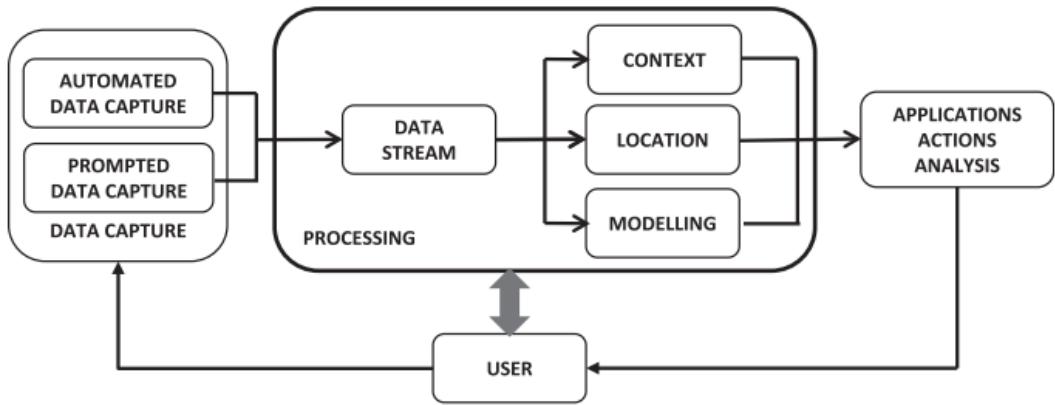
Figura 3.1: Internet das coisas como resultado de diferentes visões.



Fonte: (ATZORI, IERA e MORABITO, 2010).

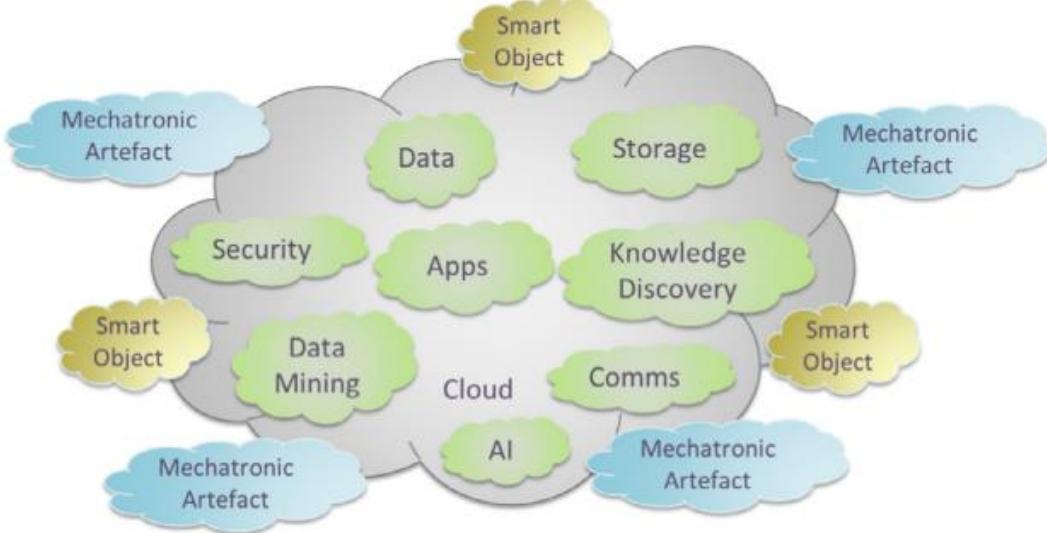
Todo o ciclo acontece de forma imperceptível e em tempo real devido os dados e processamentos serem armazenados e feitos na nuvem, como esquematizado na figura 3.3. Seu funcionamento depende das aplicações e interações exigidas entre os objetos e funcionalidades na nuvem em uma comunicação rápida e clara quando um dos lados cria uma requisição, assim como mostrado anteriormente na figura 2.6 e na tabela 1.

Figura 3.2: Sistema básico particionado do funcionamento da IoT.



Fonte: (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015).

Figura 3.3: Sistema básico particionado do funcionamento da IoT.



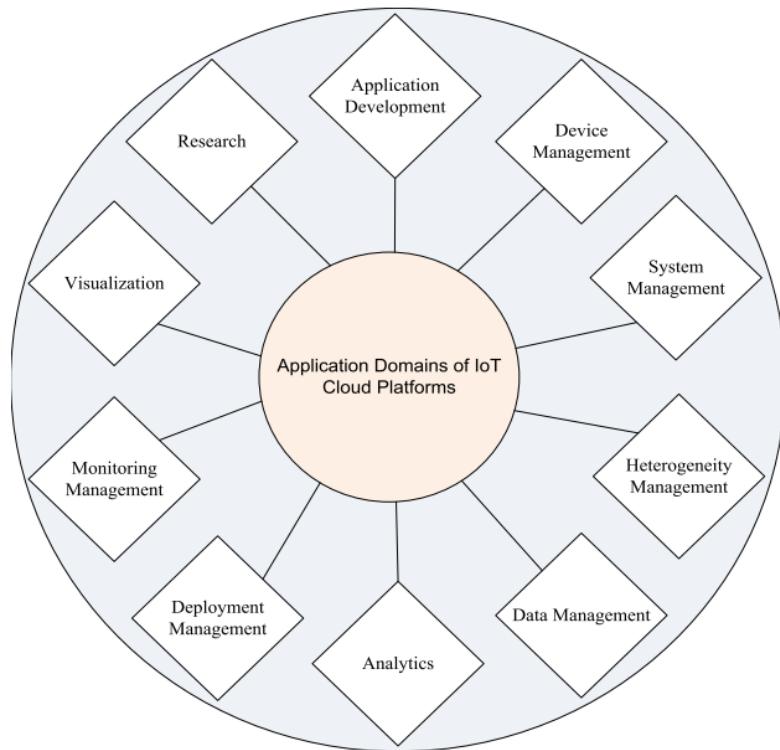
Fonte: (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015).

Com isso em mente, muitas plataformas são possíveis na prática e estão sendo desenvolvidas atualmente de acordo com seus objetivos de aplicação. De acordo com Ray em sua explanação “*A survey on Internet of Things architectures*” existe um número gigantesco de plataformas no mercado, mas se considerarmos apenas as 26 mais populares filtramos os domínios de aplicações de IoT nos 10 campos mostrados na figura 3.4.

Dentro desses campos é possível, ainda, fazer uma análise mais profunda de suas aplicações a partir das intersecções e permutações entre os domínios, possibilitando-nos entender aquelas que atualmente estão recebendo mais investimento e atenção para se desenvolverem. A figura 3.5 nos mostra exatamente isso, trazendo uma projeção das aplicações de maior impacto financeiro no mundo e suas consequências na vida das pessoas para 2025.

Deixando nítido que a concentração dos esforços veem sendo na melhora da comodidade e qualidade de vida.

Figura 3.4: Campos de aplicação de IoT em plataformas na nuvem.



Fonte: (RAY, 2018).

Não obstante, pode-se observar o mesmo propósito no empenho de forças no gráfico da imagem 3.6 elaborado por Ray ao estudar mais de 130 artigos relacionados ao tema de internet das coisas. Nele é plotado a porcentagem de abordagem versus as aplicações mais empregados de arquitetura da IoT. Nos mostrando, diferentemente da figura 3.5 que traz uma visão econômica, uma visão acadêmica de onde se concentra as energias de desenvolvimento da tecnologia.

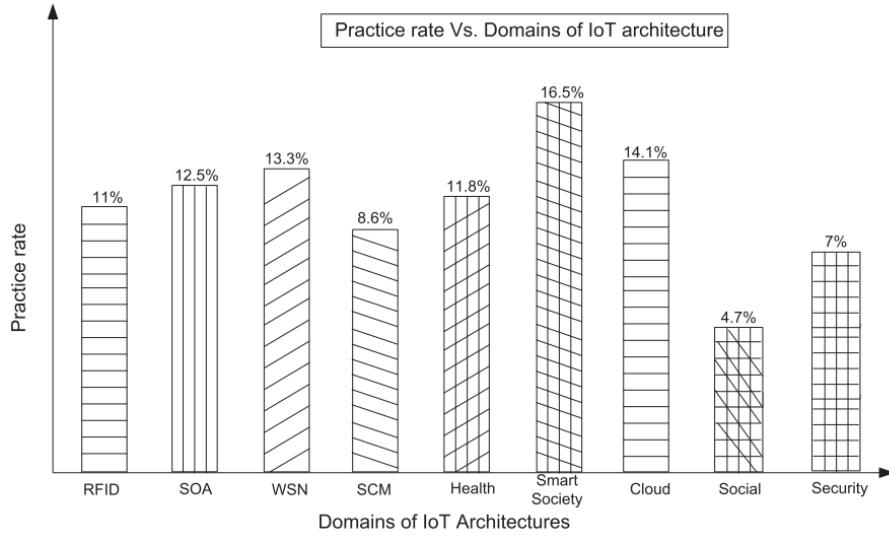
Ray também traz no “*A survey on Internet of Things architectures*” uma árvore complexa de aplicações da internet das coisas em plataformas em nuvem, figura 3.7, nos mostrando um pouco das ramificações possíveis a partir de cada arquitetura implementada da IoT abordada por ele. Ao combinarmos as visões financeiras e acadêmicas somos capazes de vislumbrar aquelas que, em geral, têm alta prioridade e que serão um pouco exploradas como exemplos, visto que não é o objetivo dessa monografia discorrer sobre tais.

Figura 3.5: Potencial impacto das aplicações de IoT na economia em dólares até 2025.

Sized applications	Potential economic impact of sized applications in 2025 \$ trillion, annually	Estimated scope in 2025	Estimated potential reach in 2025	Potential productivity or value gains in 2025
Health care	1.1–2.5	<ul style="list-style-type: none"> \$15.5 trillion cost of treating chronic diseases \$400 billion cost of counterfeit drugs, 40% addressable with sensors 50 million nurses for inpatient monitoring <ul style="list-style-type: none"> Developed world: \$30 per hour Developing: \$15 per hour 	<ul style="list-style-type: none"> 70–80% mobile penetration in patients who account for bulk of health-care spending Counterfeit drug tracking <ul style="list-style-type: none"> Developed world: 50–80% Developing world: 20–50% Inpatient monitoring <ul style="list-style-type: none"> Developed world: 75–100% Developing: 0–50% 	<ul style="list-style-type: none"> 10–20% cost reduction in chronic disease treatment through remote health monitoring 80–100% reduction in drug counterfeiting 0.5–1.0 hour time saved per day by nurses
Manufacturing	0.9–2.3			
Electricity	0.2–0.5	<ul style="list-style-type: none"> \$47 trillion in global manufacturing operating costs 	<ul style="list-style-type: none"> 80–100% of all manufacturing 	<ul style="list-style-type: none"> 2.5–5.0% saving in operating costs, including maintenance and input efficiencies
Urban infrastructure	0.1–0.3	<ul style="list-style-type: none"> 27,000–31,000 TWh global electricity consumption \$200 billion spending on transmission lines 300 billion consumer minutes outage 	<ul style="list-style-type: none"> 25–50% of consumers could adopt energy management 25–50% of grid monitored through sensors 50–100% of consumer meters automated 	<ul style="list-style-type: none"> 2–4% reduction in demand peaks in the grid Reduction of total load on grid Operating/maintenance savings; shorter outage time through automated meters
Security	0.1–0.2			
Resource extraction	0.1–0.2	<ul style="list-style-type: none"> 200–300 hours commuting time per urban worker per year \$200 billion spent on urban water \$375 billion cost of waste handling 	<ul style="list-style-type: none"> 40–70% of working urban population living in cities with smart infrastructure 50–70% of large urban regions adopting smart water infrastructure and waste handling 	<ul style="list-style-type: none"> 10–20% reduction in average travel time through traffic and congestion control 10–20% reduction in water consumption and leaks with smart meters and demand control 10–20% reduction in cost of waste handling
Agriculture	~0.1			
Retail	0.02–0.10	<ul style="list-style-type: none"> \$6 trillion cost of crime 	<ul style="list-style-type: none"> Adoption of advanced surveillance by countries accounting for 50–70% of global GDP 	<ul style="list-style-type: none"> 4–5% crime reduction through improved surveillance
Vehicles	~0.05	<ul style="list-style-type: none"> \$3.7 trillion in global mining operating costs 	<ul style="list-style-type: none"> 80–100% of all resource extraction 	<ul style="list-style-type: none"> 5–10% saving in operating costs from productivity gains
Other potential applications (not sized)		<ul style="list-style-type: none"> \$630 billion in automotive insurance premiums \$200 billion lost due to stockouts \$1.2–1.3 trillion in agricultural production (wheat, maize, rice, soybeans, barley) 	<ul style="list-style-type: none"> 10–30% of all insured cars equipped with sensors 30–80% of retail adopting smart logistics 20–40% adoption of advanced irrigation systems and precision farming 	<ul style="list-style-type: none"> 25% reduction in cost of vehicle damage from collision avoidance and increased security¹ 1.5–2.0% increased sales 10–20% increase in yields from precision application of fertilizer and irrigation
Sum of sized potential economic impacts	2.7–6.2			

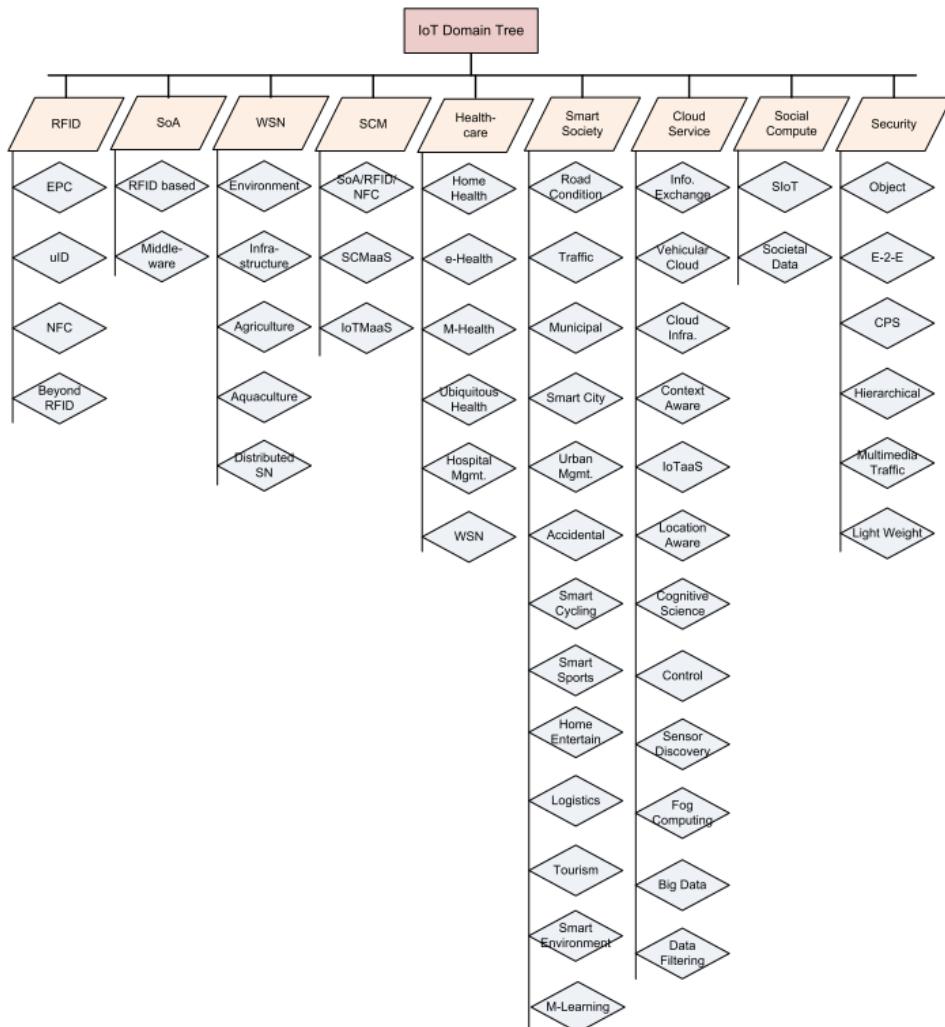
Fonte: (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013).

Figura 3.6: Campos de aplicação de IoT em plataformas na nuvem.



Fonte: (RAY, 2018).

Figura 3.7: Árvore de aplicações de internet das coisas em plataformas na nuvem.



Fonte: (RAY, 2018).

3.3. Exemplos

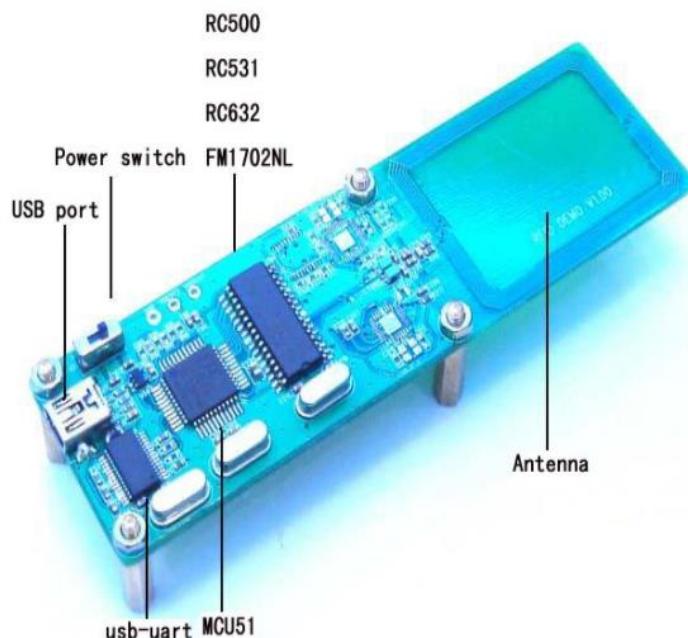
Considerando-se então as figuras 3.5, 3.6 e 3.7 as aplicações mais recorrentes e que terão um impacto significativo podem ser categorizadas, entre outros, em três grandes núcleos:

- RFID;
- Cidades Inteligentes;
- Indústria.

3.3.1. RFID

Sensores de identificação de radiofrequência (RFID), ilustrado na figura 3.8, são simplesmente um sistema de capturas de dados que utiliza o sinal, frequência, de rádio para comunicação. Basicamente cada sensor pode contar, dependendo da sua função, com um transponder ativo, que emite e recebe o sinal, ou um passivo que apenas recebe o sinal e tem capacidade de refleti-lo. É importante lembrar que, assim como a arquitetura em WSN, falada futuramente, o RFID é apenas um de muitos tipos de sensores que podem ser usados como componentes de um sistema de internet das coisas.

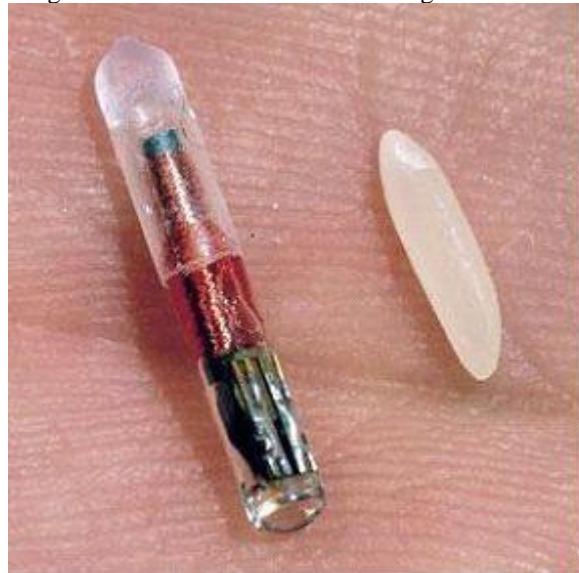
Figura 3.8: Ilustração básica de um sensor RFID.



Fonte: (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO).

Entretanto, RFID é atualmente o sensor mais visto e utilizado em projetos de internet das coisas. Isso por causa da incrível miniaturização que se consegue empregar hoje ao desenvolvê-lo, graças ao advento de fabricação de novas tecnologias como sistemas micro elétrico mecânicos (MEMS). Possibilitando assim RFIDs do tamanho de um grão de arroz, figura 3.9, diminuindo, consequentemente, seus gastos de energia e, assim, viabilizando colocá-los em quase todos os lugares imagináveis, inclusive em pessoas (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013). Nesse contexto, cada sensor RFID pode ser caracterizado por uma identidade única, que ao transmitir um sinal ele consegue ativar a resposta de outros objetos na periferia usando, cada qual, sua chave exclusiva (RAY, 2018).

Figura 3.9: RFID do tamanho de um grão de arroz.



Fonte: (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO).

Com a facilidade e a difusão do RFID, as possibilidades de internet das coisas começam a se tornar cada vez mais palpáveis. O rastreamento de milhões de itens em tempo real, escalando o sistema de cadeia de suprimentos, possibilitando otimizações de processos, identificação de gargalos, implementação de logísticas preditivas, entre outras, é apenas uma de muitas aplicações por sensores desse tipo (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013). Algumas outras são:

- *Block Chain* – uma cadeia de suprimento toda rastreada, desde o recolhimento da matéria prima, até a venda do produto para o consumidor final;

- Serviços de saúde – detecção intrahumana e domiciliar das condições físicas e mentais em que as pessoas se encontram;
- Diminuição de falsificações – embalagens rastreadas de tal forma que garantam que suas mercadorias não foram burladas ou trocadas, garantindo a legitimidade dela;
- Serviços e experiências – monitoramento do meio vivido por cada usuário, possibilitando serviços e propagandas customizadas para cada um, como supermercado autônomo quando em falta da geladeira, por exemplo;
- Infraestruturas – sensores de monitoramento estrutural e logístico, como do fluxo de trânsito fazendo ajustes na temporização dos semáforos;

3.3.2. Cidades Inteligentes

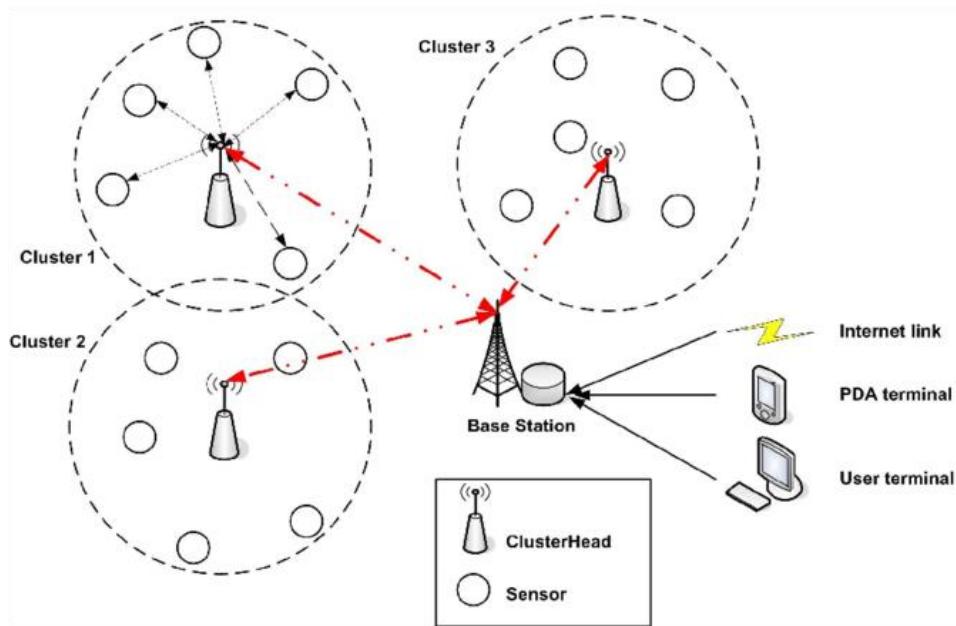
Cidades inteligentes são munidas massivamente de sensores, atuadores e infraestruturas inteligentes que respondem as mudanças do meio ambiente, demandas dos usuários, automações e exigências de performance. Por exemplo, muitos prédios atualmente contam com medidores de leitura inteligentes de energia e água, diminuindo o consumo desses recursos e eliminando a necessidade da verificação do consumo por pessoas físicas (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2012).

Além das estruturas inteligentes, uma cidade inteligente conta com carros, táxis e os semáforos em si bem estruturados escalando a velocidade de locomoção e o fluxo de movimentação ao diminuir a perca de tempo no trânsito e acidentes (STANKOVIC, 2014). Um modelo que exemplifica bem isso é de um veículo que procura uma vaga para estacionar em uma rua de grande passagem de carros como no centro de São Paulo. Através de câmaras e comunicação inteligente o veículo pode alertar o motorista as localizações de possíveis vagas que ele pode se direcionar para parar o carro. Evitando um veículo a mais perambulando sem rumo e populando o trânsito.

Isso tudo só é possível graças a uma rede estruturada de comunicação e compartilhamento de dados, em tempo real, entre aparelhos inteligentes embarcados em cada estrutura ou veículo. Em outras palavras, de forma geral, é preciso que cada aparelho esteja conectado em uma rede de sensores sem fio (*Wireless Sensor Network – WSN*). O WSN, ilustrado na figura 3.10, consiste em um número finito de nós de sensores controlados por um nó especial, através de protocolos de comunicação empregados em multicamadas (RAY, 2018).

Essa estrutura de comunicação possibilita múltiplas distribuições e utilizações de acordo com o número de camadas sobrepostas em campos. Podemos ver algumas no monitoramento do meio ambiente, que exigem análise de diversos fatores e em diversos lugares ao mesmo tempo, de infraestruturas, como as de tráfego, de agricultura, que exigem um controle preciso de irrigação ou dedetização dependendo do clima, praga, estação, temperatura etc., e de comportamento humano, como na cobrança automática de produtos colocados no carrinho pelo usuário em supermercados.

Figura 3.10: Esquema de funcionamento da IoT na arquitetura de WSN.



Fonte: (SOLAIMAN, BASMA & SHETA, ALAA, 2015).

De acordo com Roberto Saracco, Presidente do Comitê de Direções Futuras do IEEE e ex-Diretor do Laboratório *EIT ICT Italian Node* “a cidade do futuro será autoconsciente, como um ser vivo” (KAMEL BOULOS e AL-SHORBAJI, 2014). Na qual se reconfigura dinamicamente dependendo da necessidade exigida, tendo como base a internet das coisas, não apenas como um sistema, mas como uma parte crítica da infraestrutura das cidades inteligentes (STANKOVIC, 2014).

3.3.3. Indústria

A indústria é uma parte vital da nossa sociedade atual, produzindo e manufaturando todos os tipos de produtos que necessitamos no nosso dia a dia. Com uma natureza complexa e cheia de detalhes o sistema industrial atual provê um ambiente perfeito para a internet das coisas e inovações para aumento de desempenho e escalabilidade de produção, principalmente. Alguns exemplos de setores que já veem trabalhando nisso são:

- Manufatura avançada;
- Manufatura em geral;
- Biofarmacêuticas;
- Dispositivos médicos (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015).

Essa exigência, cada vez mais constante, de evolução da produção requisitou altos índices de logística, controle e automação do sistema, solicitando, com isso, a incorporação de dados para a otimização dos processos e entrega de manufaturados de maior qualidade e menor custo. Todo esse movimento pode-se ser chamado de Indústria 4.0 (ROBLEK, MEŠKO e KRAPEŽ, 2016).

O que deu vida a 4^a Revolução Industrial, a Indústria 4.0, também chamada de manufatura avançada, é essencialmente a comunicação permanente, através de uma rede como a internet, que permite a interação contínua e troca de informações entre humanos, humanos e máquinas e, também, entre máquinas (ROBLEK, MEŠKO e KRAPEŽ, 2016). Esse conceito é tão importante para a sociedade não só pelo fluxo de informação, mas também pelas possibilidades que ela representa:

- Digitalização da produção - sistema de informações para gestão e planejamento de produção;
- Automação - sistema de aquisição de dados a partir das linhas de produção e maquinário;
- Integração da cadeia de suprimentos – conexão de locais de manufatura com a cadeia de suprimentos através da troca autônoma de dados (ROBLEK, MEŠKO e KRAPEŽ, 2016).

Já a manufatura em geral vem sendo bastante balançada pela popularização tanto de máquinas de impressão 3D, quanto de pequenos sensores de baixo custo que podem

comunicar entre si. Levando a produção de produtos corriqueiros a um alto grau de personalização, inovação e flexibilidade ao combiná-los a estratégias de mineração de dados providos pela IoT, trazendo uma experiência de usuário bem mais robusta e certeira (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015).

Agora na produção de biofármacos e dispositivos médicos a IoT age, principalmente, na necessidade interna de regulamentação e na diminuição de custos na inovação para medicina personalizada. O primeiro se destaca no uso de dados para testes e implementações de fármacos específicos para doenças raras, combinadas com o avanço de diagnósticos cada vez mais precisos. Já o segundo mira exatamente na acurácia de diagnósticos por equipamentos médicos, tentando minimizar os falsos positivos e negativos ao mesmo tempo que se preocupa em manter a segurança/privacidade dos dados colhidos e a propriedade intelectual sem ferir os direitos dos pacientes em geral (BRADLEY, RUSSELL, *et al.*, 2015).

4. IOT NAS UNIVERSIDADES

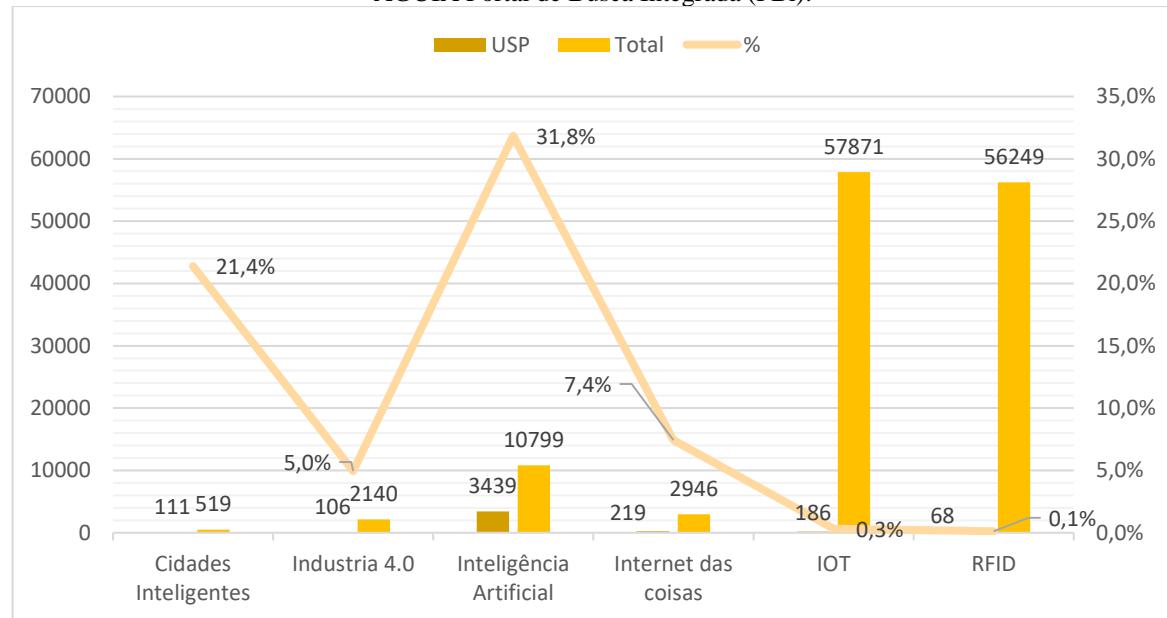
4.1. IoT na engenharia mecatrônica da EESC USP

Internet das coisas é uma das tecnologias disruptivas do novo mundo VUCA que está nas maiores mentes do mundo, tanto no meio acadêmico quanto no meio empresarial. Se tornando palpável a cada dia que passa e entrando na vida das pessoas com fluidez e rapidez ao ponto de em poucos anos transformar e se tornar nossa nova realidade.

Até então esta monografia veio mostrando suas peculiaridades, desafios e como a mesmas se inserem no contexto da mecatrônica. É importante salientar e notar como em todos os momentos a tecnologia da informação (TI) foi a grande alavanca modeladora transformadora das tecnologias disruptivas nos últimos tempos, vide figura 2.10, inclusive a IoT. O que bate de frente ao que temos atualmente não só no curso da mecatrônica na EESC, mas de toda a USP.

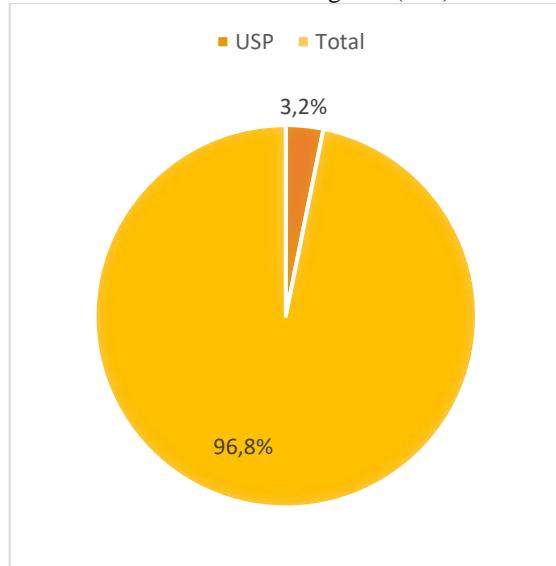
A figura 4.1 traz o número de conteúdos na biblioteca da USP publicados a partir dos anos 2000 pela USP e pelas demais universidades relacionadas à IoT. Quando as comparamos numa visão macro, figuras 4.1 e 4.2, fica evidente o número irrisório de estudos feitos e promovidos dentro da USP na área. Isto porque temos que considerar também que a base de busca foi a própria biblioteca online da USP que contém todo acervo publicado pela mesma, sendo que das demais faculdades temos apenas uma pequena amostra do que produzem.

Figura 4.1: Gráfico do número de conteúdo de cada área relacionado à IoT a partir dos anos 2000 no acervo da AGUIA Portal de Busca Integrada (PBi).



Fonte: (Elaborado pelo autor, busca em 24/05/2021).

Figura 4.2: Comparação do número de conteúdo relacionado à IoT a partir dos anos 2000 no acervo da AGUIA Portal de Busca Integrada (PBi).



Fonte: (Elaborado pelo autor, busca em 24/05/2021).

Já a tabela 6 mostra o presente oferecimento das matérias obrigatórias no curso de Bacharelado de Engenharia Mecatrônica disponibilizado pela Escola de Engenharia de São Carlos. Ao analisarmos e quantificarmos tais matérias em subáreas conseguimos dividi-las em 6 grupos mostrados da figura 4.3.

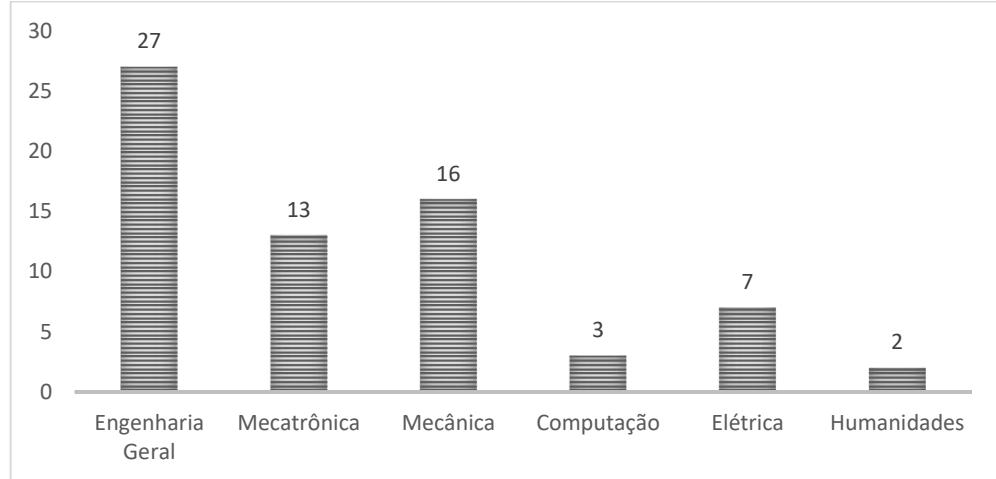
Tabela 6: Classificação da grade de disciplinas do curso de Engenharia Mecatrônica da EESC USP em 24/05/2021.

Classificação	Disciplina
Engenharia Geral	Química Geral
Engenharia Geral	Química Geral Experimental
Engenharia Geral	Física I
Engenharia Geral	Laboratório de Física Geral I
Mecatrônica	Introdução à Engenharia Geral Mecatrônica
Mecânica	Desenho Técnico Mecânico I
Engenharia Geral	Geometria Analítica
Engenharia Geral	Cálculo I
Computação	Introdução à Programação para Engenharia Geral
Engenharia Geral	Física II
Engenharia Geral	Laboratório de Física Geral II
Mecânica	Estática Aplicada às Máquinas
Mecatrônica	Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica I
Mecânica	Desenho Técnico Mecânico II
Computação	Tópicos em Computação
Computação	Práticas de Tópicos em Computação
Engenharia Geral	Álgebra Linear
Engenharia Geral	Cálculo II
Mecânica	Dinâmica Aplicada às Máquinas

Mecatrônica	Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica II
Mecânica	Mecânica dos Sólidos I
Engenharia Geral	Cálculo III
Engenharia Geral	Cálculo Numérico
Engenharia Geral	Equações Diferenciais Ordinárias
Engenharia Geral	Engenharia Geral e Ciência dos Materiais I
Engenharia Geral	Eletricidade e Magnetismo
Elétrica	Introdução aos Sistemas Digitais
Mecânica	Mecanismos
Mecatrônica	Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica III
Mecânica	Mecânica dos Sólidos II
Engenharia Geral	Cálculo IV
Engenharia Geral	Estatística I
Engenharia Geral	Engenharia Geral e Ciência dos Materiais II
Elétrica	Princípios de Eletrônica
Elétrica	Laboratório de Sistemas Digitais
Engenharia Geral	Termodinâmica I
Mecânica	Princípios de Metrologia Industrial
Mecatrônica	Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica IV
Mecânica	Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos I
Mecânica	Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas
Humanidades	Humanidades e Ciências Sociais
Elétrica	Introdução à Organização de Computadores
Engenharia Geral	Fundamentos da Mecânica dos Fluidos
Mecânica	Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos II
Mecatrônica	Sistemas de Controle I
Mecatrônica	Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica V
Mecânica	Processos de Fabricação
Mecânica	Práticas em Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos
Elétrica	Aplicação de Microprocessadores I
Elétrica	Eletricidade II
Engenharia Geral	Sensores e Sistemas de Medidas
Mecânica	Vibrações Mecânicas
Mecatrônica	Sistemas de Controle II
Mecatrônica	Projeto de Sistemas Mecatrônicos I
Mecânica	Transferência de Calor e Massa
Engenharia Geral	Gestão Ambiental para Engenheiros
Mecatrônica	Dinâmica e Controle de Sistemas Robóticos I
Mecatrônica	Interfaces Eletromecânicas
Mecatrônica	Elementos de Automação
Mecatrônica	Projeto de Sistemas Mecatrônicos II
Mecânica	Sistemas Térmicos e Fluídicos
Engenharia Geral	Gestão e Organização
Humanidades	Princípios de Economia
Engenharia Geral	Estágio Supervisionado
Engenharia Geral	Trabalho de Conclusão de Curso I
Elétrica	Sistemas Embarcados
Engenharia Geral	Trabalho de Conclusão de Curso II

Engenharia Geral	Gerenciamento de Projetos
Fonte: (BARBOSA, 2019) (Ajustado pelo autor).	

Figura 4.3: Gráfico quantitativo da classificação das disciplinas do curso de Engenharia Mecatrônica da EESC USP.

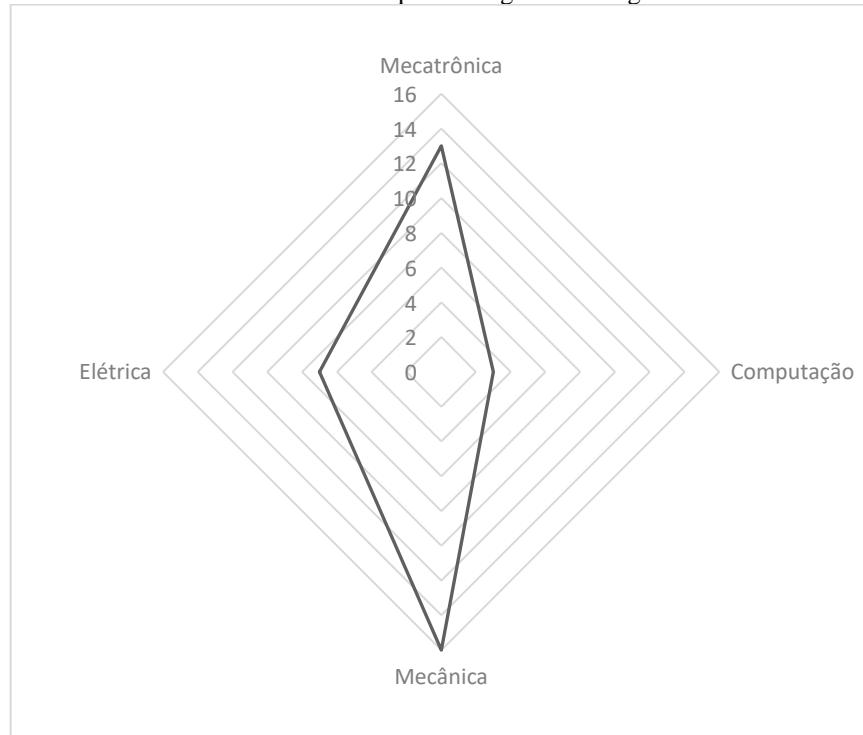


Fonte: (BARBOSA, 2019) (Ajustado pelo autor).

Percebemos assim, que grande parte do curso é magistrado por matérias de engenharia geral que são essenciais para todo tipo de engenheiro ao contemplar, principalmente, matemática e física básicas. Como são matérias fundamentais para qualquer engenheiro iremos desconsiderá-las adiante, assim como as matérias de humanidades que visam trazer uma maior compreensão humana no sentido histórico e não é o nosso foco aqui. Quanto as demais subáreas, podemos avaliar, visualmente, sua distribuição na figura 4.4, mostrando a dominância de disciplinas mecânicas no curso (BARBOSA, 2019). Não que uma base sólida de mecânica seja ruim para o curso, podemos entender a mecatrônica como uma extensão da mesma, mas atualmente é intrínseco a diversidade de assuntos necessários a um mecatrônico, vide capítulo 2.

Enquanto que, numa visão rasa, matérias que envolvem tecnologia da informação, que são a essência das novas tecnologias disruptivas e da IoT, são pouco exploradas. Com auxílio da figura 4.4 percebemos o contraste de disciplinas disponibilizadas no campo de computação, que seriam o que mais se aproximam de TI, em comparação as demais. No entanto, pode-se entender também que TI é uma extensão da mecatrônica, tornando as matérias desse campo responsáveis por praticamente todo o ensino de TI e de preparar os universitários para o mundo das tecnologias disruptivas, visto como a grade se encontra hoje.

Figura 4.4: Gráfico de radar das subáreas das disciplinas da grade de Engenharia Mecatrônica da EESC USP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. IoT na engenharia nas universidades pelo mundo

É importante entendermos também como as universidades ao redor do mundo trabalham a questão das tecnologias disruptivas e da internet das coisas em suas grades, seus incentivos e até projetos desenvolvidos no campo e, sem esquecer é claro, que se encaixam ao contexto da engenharia mecatrônica, que é nosso foco aqui.

Para isso, é importante uma metodologia de escolha refinada das melhores universidades, já que atualmente temos algumas milhares espalhadas por aí, e nem todas têm o mesmo mérito no geral. Arthur Barbosa em seu trabalho “Diagnóstico curricular das engenharias mecatrônicas no mundo e paralelos com a Escola de Engenharia de São Carlos” propõem em 2019 uma triagem seletiva por 3 rankings internacionais:

- *Quacquarelli Symonds (QS);*
- *Academic Ranking of World Universities (ARWU);*
- *Times Higher Education (THE) World University Rankings.*

Cada qual com suas próprias peculiaridades de avaliação, mas com altos critérios de exigências, o que as tornam altamente renomadas e aceitas pelo mundo. Assim, baseando-

se a partir destes rankings, e como Arthur sugere, traçamos alguns parâmetros para termos uma melhor apuração das universidades, como:

- Reputação acadêmica;
- Reputação mercadológica;
- Localização geográfica;
- Divulgação e publicação de conteúdo;
- Facilidade de obtenção de dados sobre as mesmas.

Um ponto importante, também, é entender que cada país pode apresentar um sistema de divisão de educação diferente podendo, em alguns casos, se diferirem muito de como o Brasil trabalha e que têm-se de ser minimizado, ou, por vezes, considerar irrelevante no quesito de título/grau acadêmico. Posto isso, as universidades selecionadas são vistas na tabela 7 abaixo.

Como pode se ver na tabela 7, as três universidades selecionadas estão entre as melhores faculdades do mundo no curso de mecânica e/ou mecatrônica de acordo com os ranques utilizados, isso porque nem todas apresentam os mesmos cursos, mas cursos relacionados. Além disso, para termos um cenário mais amplo e geral é interessante termos universidades de continentes distintos.

Tabela 7: Seleção das universidades nos ranques QS, ARWU e THE por assunto.

Universidade	Localização	QS: Mecânica 2021	ARWU: Mecânica 2021	ARWU: Automação e Controle 2021	THE: Mecânica 2021
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	Estados Unidos	1º	9º	1º	5º
<i>ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ)</i>	Suiça	13º	51º-75º	3º	14º
<i>National University of Singapore (NUS)</i>	Singapura	9º	44º	30º	25º

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1. *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*

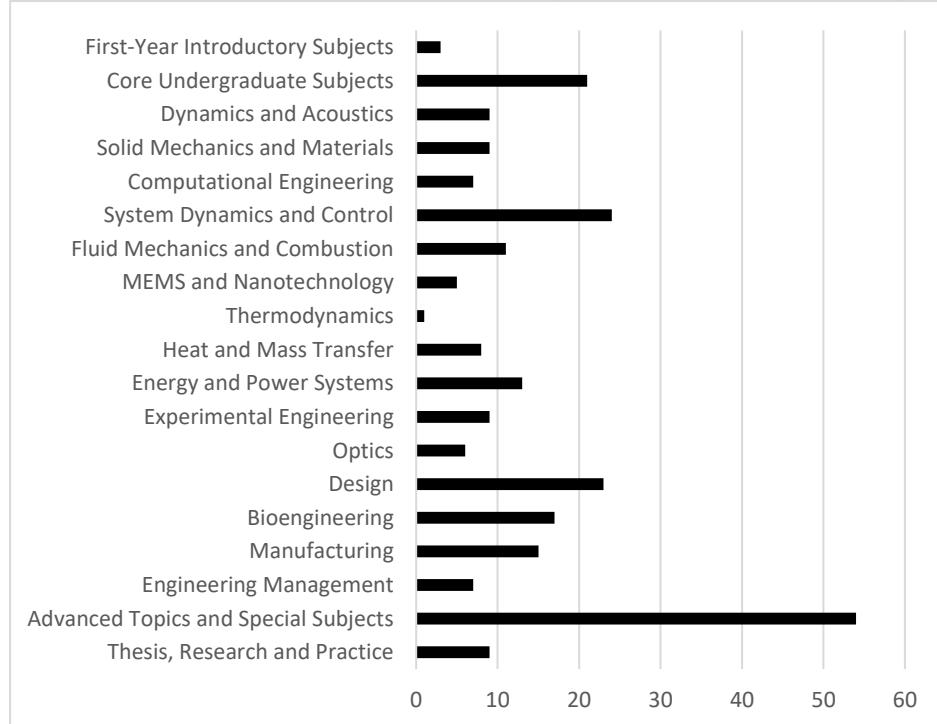
MIT é uma das faculdades mais renomadas no mundo com mais de 150 anos de história com sua sede principal localizada nos Estados Unidos. Com um método de ensino politécnico, focada na pluralização e diversidade de pesquisa no campo de engenharia,

atualmente compõem os pódios de desenvolvimento tecnológico do mundo. A engenharia no MIT é vista como uma área importante na qual o aluno recebe uma bagagem inicial de matérias gerais, igual para todos, e então escolhe um conjunto de matérias que irão estudar até conseguir o diploma de graduação e, se quiser, de mestrado também.

No campo da engenharia mecânica temos um conjunto extenso de mais de 260 matérias desde assuntos básicos até complexos, no qual o aluno tem a oportunidade de se aprofundar em várias áreas de estudo, como nanotecnologia, bioengenharia e tecnologia do esporte ainda na graduação. Na figura 4.5 é apresentado como o curso de mecânica no MIT é dividido e na tabela 8 os ramos de interesse que podem ser seguidos pelos alunos.

Os segmentos tópicos avançados e assuntos especiais apresentam o maior número de matérias relacionadas. Elas são em sua maioria voltadas para estudos de casos específicos por conta própria por alunos ou elencados por um professor, podendo mudar seu assunto todos os semestres, o que abre um leque de possibilidades a serem trabalhadas em diferentes ramos, constatado na tabela 8. Assim, podemos considerá-los algo como “Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica” oferecidos no curso de Engenharia Mecatrônica na ESSC USP.

Figura 4.5: Gráfico de divisão das matérias no curso de Engenharia Mecatrônica oferecido pelo MIT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por outro lado, se desconsiderarmos tal segmento ficamos com 3 principais: Design, Sistemas dinâmicos e controle e Disciplinas gerais. O primeiro, como evidenciado ao longo

desta monografia, principalmente no capítulo 2, é o grande núcleo do mercado da engenharia e comprovado por seu foco aqui. O campo de design no MIT envolve uma gama de disciplinas desde designs de aparelhos médicos, biomecânicos e nanotecnológicos, até mecatrônicos. Sistemas dinâmicos e controle envolve as disciplinas centrais da mecatrônica em si, como robótica, retroalimentação e controle. Já disciplinas gerais, como diz o nome, são matérias básicas que qualquer engenheiro mecânico tem que ter para sua formação.

Tabela 8: Ramos de interesse oferecidos pelo MIT para o curso de Engenharia Mecânica

Áreas de Excelência
Mechanics: Modeling, Experimentation, and Computation (MMEC)
Design, Manufacturing, and Product Development.
Controls, Instrumentation, and Robotics
Energy Science and Engineering
Ocean Science and Engineering
Bioengineering
Nano/Micro Science and Technology

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse modo, é concreto o foco não só em mecatrônica por parte do MIT, mas também numa grande gama de assuntos inovadores e tecnológicos, desde sua base na graduação. O que demonstra um empenho espetacular em multidisciplinaridade na convergência da formação de pessoas capazes de estruturar as tecnologias disruptivas, IoT, indústria 4.0 e outras. Ainda mais se considerarmos a infraestrutura básica do MIT, assim como seus centros de pesquisa na qual os alunos podem fazer parte.

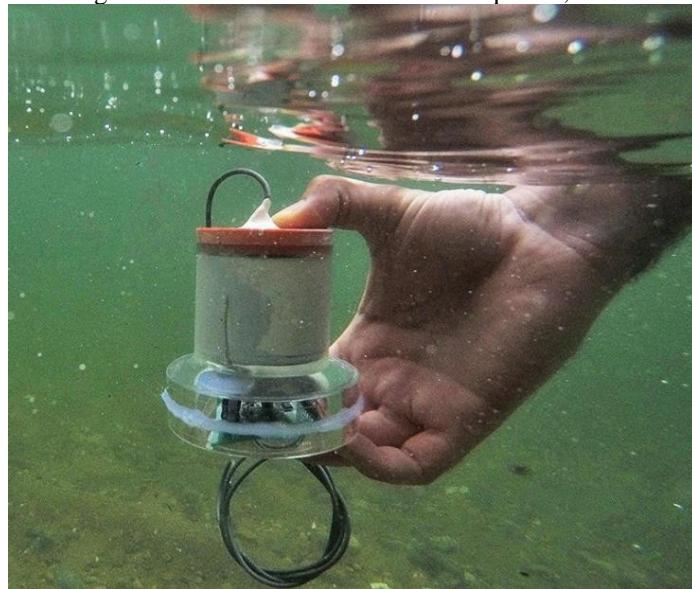
Atualmente o MIT detém por volta de 64 centros de pesquisa espalhados por seus campos no mundo, sendo que pelo menos 23 deles apresentam pesquisas relacionadas com desenvolvimento da IoT, direta ou indiretamente, o que sugere também que devam existir mais se considerarmos tecnologias disruptivas como um todo. Dentre eles podemos citar os 3 a seguir que têm como foco principal a internet das coisas em si.

O *Computer Science & Artificial Intelligence Lab (CSAIL)* tem uma parte do departamento desenvolvendo uma tecnologia de rastreamento de movimentos dentro de ambientes, como uma casa, a partir de ondas de rádio, possibilitando o monitoramento do comportamento das pessoas. Dois estudos direcionados até então foram o de qualidade de sono e o de administração de remédios. Os dados obtidos no monitoramento de ambos podem ser relatados diretamente para o médico ou, de certa forma, receberem automatizações para administrar de forma correta nos pacientes, sem a intervenção humana.

O *Institute for Data, System, and Society (IDSS)* apresenta foco em áreas como cidades inteligentes, redes inteligentes e cuidados com a saúde. Alguns dos projetos desenvolvidos lá se baseiam em monitoramento e mapeamento logístico da área urbana, através de dados de smartphones, ao mesmo tempo que tenta-se gerar um sistema otimizado para diminuição de consumo energético ao desenvolver carros autônomos de mobilidade *on demand* e assim estudar, mensurar e predizer como as redes de suprimentos e suas interconexões no transito estão arranjadas e impactam uma na outra.

Já o *MIT Media Lab* é um centro de cultura interdisciplinar muito ligado as artes e a ciência. Devido isso, promove projetos em campos como biomecânica, cidades inteligentes, dinâmicas humanas, maquinas moleculares, robôs pessoais, maquinas sociais, entre outras. Um de seus projetos, mostrado na figura 4.6, é o U2B, que é uma rede de nós que funciona como o WSN, que possibilita a utilização de IoT em meios aquáticos através de ondas sonoras. Isso porque, a água é um péssimo condutor de ondas de rádio que são frequentemente usadas nos ambientes normais. Além disso, o U2B não poderia sofrer problemas de energia, visto o ambiente que se encontra, o que é solucionado pelo baixo consumo de energia e recarregamento através de ondas sonoras. Fabricado a partir de transdutores de retro espelhamento subaquático esperasse que U2B possibilite o uso do IoT em ambientes subaquáticos para monitoramento de mudanças climáticas, detecção de vida marinha e exploração oceânica.

Figura 4.6: Um nó da rede de IoT subaquática, U2B.



Fonte: (SCIENCE & TECHNOLOGY, 2020)

4.2.2. ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ)

Com mais de 160 anos de vida a ETHZ é reconhecida como, não só uma das melhores faculdades da Europa, como também do mundo. Localizada na Suíça, assim como o MIT também utiliza um sistema de ensino politécnico, dando aos alunos possibilidade de trilhar e se especializar no caminho de sua própria escolha.

A formação da ETHZ é dividida em duas partes principais. A primeira, realizada em 3 anos, tem o objetivo de introduzir seus alunos no mundo da engenharia, e a segunda, realizado em 2 anos, traz uma gama de áreas para especialização aprofundada. No curso de engenharia mecânica para os primeiros 3 anos temos a divisão do curso como mostrado na figura 4.7, sendo que ETCS são o mesmo que os créditos ou hora-aula, como chamamos no Brasil.

É evidente que as matérias obrigatórias são a maioria nessa parte do curso, já que englobam todas as matérias de base da engenharia mecânica desde física e matemática até química e biologia. Depois disso, temos 2 grandes pontos nesta grade inicial: matérias eletivas e assuntos foco. Matérias eletivas são 6 disciplinas escolhidas entre as 14 apresentadas no eixo horizontal da figura 4.8, na qual se feitas em conjunto complementam o curso de forma a dar um maior foco na formação do aluno, daí assuntos foco, mostrados no eixo vertical da figura 4.8. Além das matérias, os assuntos foco também exigem um projeto de 2 semestres no assunto relacionado.

Figura 4.7: Grade geral do curso de Engenharia Mecânica oferecido pela EHTZ.

Courses	ECTS	Semester					
		1	2	3	4	5	6
Workshop Training	5						
Compulsory Courses	107						
Engineering Tools	2						
Electives	24						
Laboratory Practice	2						
Focus	20						
Bachelor´s Thesis	14						
Science in Perspective/SiP	6						
Bachelor of Science ETH in Mechanical Engineering	180						

Fonte: (EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH, 2021c)

Na segunda parte da formação da EHTZ o aluno pode optar em se especializar dentre 12 grandes áreas, expostas na tabela 9. Cada programa apresenta matérias próprias da área, fazendo com que ocorra o mesmo que temos com a “ênfase” em alguns cursos aqui no Brasil. Robótica, sistemas e controle, por exemplo, seria a ênfase de mecatrônica para o curso de engenharia mecânica.

Analisando os programas de especialização percebemos, também, que, de certa forma, todas elas estão correlacionadas as tecnologias disruptivas, já que elas, como o IoT, podem ser percebidas como tecnologias multidisciplinares que têm como base a ação autônoma através da coleta de informações, assim como seus impactos na sociedade em geral.

Figura 4.8: Matérias eletivas recomendadas para cada assunto foco.

Fokus-Vertiefung Focus Specialization		Empfohlene Wahlfächer/ Recommended Electives												
		Engineering Applications I												
Biomedical Engineering	o	o	o				•	•	•				•	•
Energy, Flows & Processes	o	o				o			•					
Management, Technology, and Economics					o						•			
Mechatronics	o	o	o	o	o		•	•		•	•	•	•	•
Microsystems and Nanoscale Engineering	o		o		o	o	•	•	•	•				•
Manufacturing Science			o	o	o		•	•		•	•	•		•
Design, Mechanics and Materials	o	o			o						•	•	•	

o findet im Frühlingssemester statt / takes place in spring semester
 • findet im Herbstsemester statt / takes place in autumn semester

Fonte: (EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH, 2021d)

Diante disso, os centros de pesquisa e desenvolvimento da ETHZ também focam nessa inovação e são divididos em dois: centros de competência e centros nacionais de competência em pesquisa (NCCR). Os centros de competência têm foco interdisciplinar e acadêmico e são compostos por um total de 10, dos quais 5 apresentam pesquisas relacionadas a tecnologias disruptivas. Já os NCCR promovem programas de estudo de tópicos estratégicos

para a Suíça, constituindo um total de 40 tópicos, nos quais apenas 22 estavam ativos hoje e 5 trabalham IoT de forma direta ou indireta

Tabela 9: Áreas disponíveis para especialização para engenheiros mecânicos na EHTZ.

Programas de especialização
Mechanical Engineering
Process Engineering
Micro and Nanosystems
Robotics, Systems and Control
Nuclear Engineering
Biomedical Engineering
Energy Science and Technology
Integrated Building Systems
Management, Technology and Economics
Science, Technology and Policy
Computational Biology and Bioinformatics
Data Science

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre ambos os tipos de centros, 3 deles se destacam na área da internet das coisas. O *Competence Center for Rehabilitation Engineering and Science (RESC)* apresenta diversos projetos acadêmicos no campo da mecatrônica e robótica desenvolvidos por alunos de variados graus de instrução e orientados por professores. Na maior parte eles têm como foco robôs autônomos, reabilitação e saúde digital. Principalmente no sentido de saúde, demonstram um sistema conjunto de aplicativos, sensores e reconhecimento de voz para monitorar o ambiente e a saúde do paciente a fim de prevenir o agravamento da saúde do mesmo.

O *World Food System Center* embora não seja um centro primariamente focado no desenvolvimento da IoT, acabou se aproveitando da tecnologia para melhora de controle, monitoramento e predição das cadeias alimentícias. Exemplo disso são projetos com objetivo de melhorar a cadeia de distribuição de alimentos através de tecnologias de rastreamento como *block chain*. Ademais, o projeto *ETH Studio AgroFood* é uma iniciativa do centro para o desenvolvimento da indústria 4.0 no meio agrícola e alimentício. Nascida da percepção do descaso na formação de estudantes para o mundo digital, o projeto foca em desenvolver alunos da instituição para compreensão e resolução de questões complexas e de rápida mudança no campo.

Já o *NCCR Dependable Ubiquitous Automation* é o centro puramente voltado para o desenvolvimento de tecnologias disruptivas. Levando em consideração os avanços em sensoriamento, ciência de dados e computação, o centro foca profundamente na automação e

controle de sistemas como cidades, redes inteligentes e processos industriais. Partindo desde a base teórica do IoT, passando por estudos avançados de computação e energia, até chegar nas aplicações do cotidiano, o NCCR difunde os projetos exibidos na Tabela 10.

Tabela 10: Projetos de aplicações desenvolvidos pela *NCCR Dependable Ubiquitous Automation*.

Projetos de Aplicação
Industria 4.0
Controle de acionamentos elétricos
Sistema de controle de rede
Controle de voo
Laser de elétrons
Fabricação digital
Eletrônica de potência
Anestesia
Processos químicos
Biossistemas
Máquinas termoacústicas
Controle de ruído ativo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que todos os projetos acima têm como princípio a autonomia de decisões pela máquina através de alguma forma de coleta de informações. O controle de ruído ativo, por exemplo, busca através de sensores e atuadores integrados na infraestrutura dos ambientes formar uma “estrutura inteligente” capaz de perceber o ruído recebido e cancela-lo ao gerar vibrações de ondas destrutivas, impedindo a transmissão do som para outro ambiente.

4.2.3. *National University of Singapore (NUS)*

Assim como as anteriores a NUS têm uma história de mais de 100 anos, sendo classificada como uma das melhores faculdades do mundo e estabelecida, com sede principal, em Singapura. Por algum tempo a NUS já vem fazendo um trabalho de inovação e desenvolvimento forte na área de tecnologia e recebeu um impulso e estímulo para investimento ainda maior na área em 2014 quando o governo de Singapura divulgou a iniciativa “*Smart Nation*”. Tal empreendimento estabeleceu projetos e estratégias para trazer ao cotidiano da população as tecnologias disruptivas, ao mesmo tempo que desenvolve a cidade para uma economia líder num mundo moderno de rápidas transformações e mudanças (GOVERNMENT OF SINGAPORE, 2020). Para isso, a NUS reformulou sua grade nos cursos de engenharia nos últimos anos assim como trouxe para 21 centros de pesquisa o foco em tal seguimento.

No curso de engenharia mecânica, a NUS transformou as matérias bases para se tornarem mais abrangentes a mudança do país, vistas na coluna “*Common Curriculum Requerimentos*” da imagem 4.9, ao mesmo tempo que aumentou a carga horária das matérias eletivas, última coluna da imagem a seguir. Sendo que cada MCs equivale por volta de 2,5 horas, as matérias eletivas representam, assim como nas universidades já analisadas, a possibilidade de escolha em ramificações e especializações de livre escolha pelo estudante.

Figura 4.9: Estrutura da grade geral do curso de engenharia mecânica oferecida pela NUS.

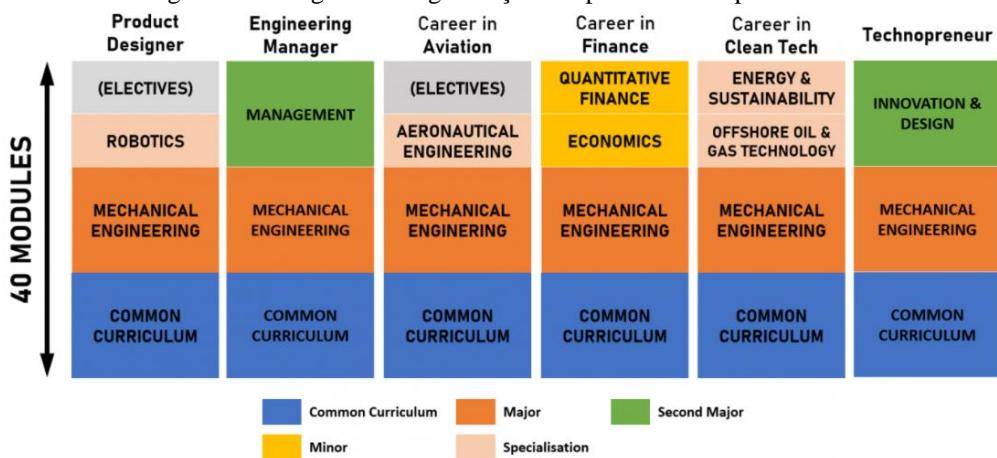
Mechanical Engineering Undergraduate Curriculum Structure (Cohort AY2021/2022)			
ME Major Requirements	Common Curriculum Requirements	Unrestricted Elective Modules (UEMs)	
Engineering Core (20 MCs) <ul style="list-style-type: none"> Mathematics I & II (8 MCs) EG2401A Engineering Professionalism (2 MCs) Internship (10 MCs) Mechanical Engineering Major (40 MCs) <ul style="list-style-type: none"> Engineering Principles & Practice I/II (8 MCs) Core modules (28 MCs) ME elective module (4 MCs) 	General Education (GE) (24 MCs) <ul style="list-style-type: none"> GER1000 Quantitative Reasoning CS1010E Programming Methodology ES2531 Critical Thinking & Writing Singapore Studies Communities & Engagement Cultures and Connections 	Common Modules (36 MCs) <ul style="list-style-type: none"> EG1311 Design and Make IE2141 Systems Thinking and Dynamics EE2211 Introduction to Machine Learning DTK1234 Design Thinking PF1101 Fundamentals of Project Management EG2501 Liveable Cities Creating Narratives Integrated Project: ME Design or FYP (8 MCs) 	40 MCs of Unrestricted Elective Modules <p>(Any module open to you; may be used to fulfil requirements for specialisations, majors or minors. Refer to the “Build Your Own Degree” page for more information.)</p>
Subtotal = 60 MCs	Subtotal = 60 MCs		Subtotal = 40 MCs
Minimum required for graduation = 160 MCs			

Fonte: (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE, 2021a).

Dentre os ramos e áreas que cada estudante pode seguir dentro das matérias eletivas a própria NUS sugere alguns caminhos entre cursos chamados *minors*, *majors* e especialização, como análise de negócios, engenharia de dados e segurança da informação. A figura 4.10 demonstra algumas combinações de caminhos possíveis a partir das 35 *majors* e mais de 50 *minors* e especializações disponíveis.

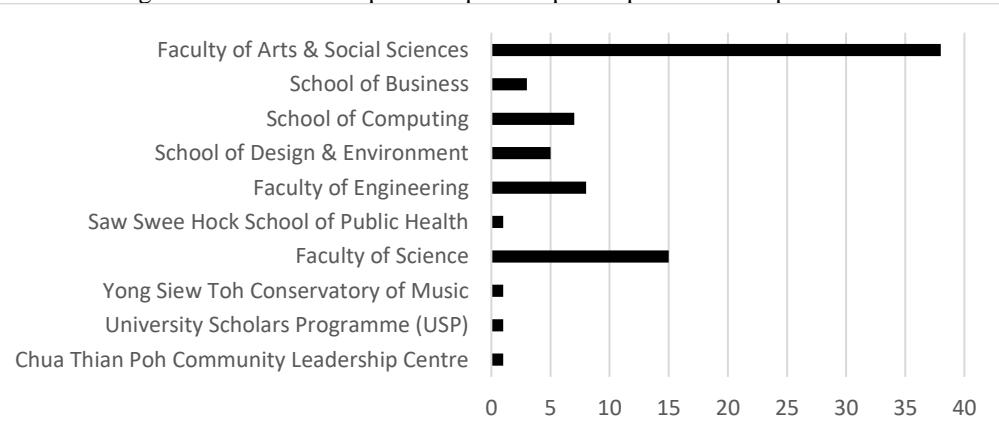
Enquanto as especializações se concentram apenas nas 4 mostradas na figura 4.10 para engenheiros mecânicos, as *majors* seria como uma segunda graduação de pequena duração. Mas são as *minors*, devido sua grande quantidade, que nos trazem uma variedade de possibilidades de caminhos a serem seguidos. A figura 4.11 mostra os diferentes campos disponíveis através delas, dando ao aluno ainda mais liberdade para a carreira a ser trilhada por ele.

Figura 4.10: Sugestões de graduações disponibilizadas pela NUS.



Fonte: (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE, 2021b).

Figura 4.11: *Minors* disponíveis por campos disponibilizadas pela NUS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

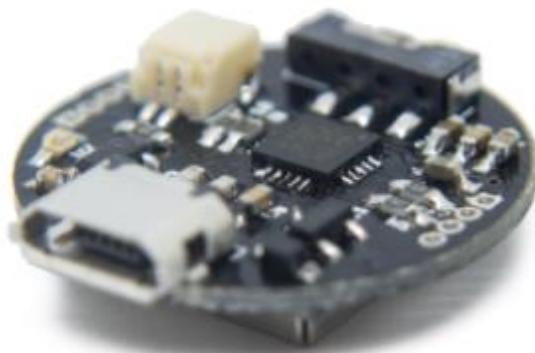
Como pode se observar da figura 4.11, a NUS tenta trazer aos seus estudantes a integração da engenharia com áreas mais sociais. Embora não foque especialmente em aprofundamento de conhecimentos técnicos de inovação, que podem ser vistos logo em seguida as áreas sociais no gráfico, a NUS tenta, provavelmente muito apoiada pela iniciativa “*Smart Nation*”, mesclar a tecnologia vista na faculdade ao cotidiano das pessoas e sociedade. Algumas

dessas tentativas podem ser vistas em seus 95 centros de pesquisa, dentre os quais 21 focam parcialmente ou totalmente em tecnologias disruptivas e/ou IoT.

Um destes centros é o *Centre for Advanced Materials and Structures (CAMS)* que, em geral, estuda materiais e estruturas inteligentes e resilientes, a partir de coleta e análise de informações, IoT, *big data* e robôs autônomos. Um de seus projetos é o de monitoramento da saúde de estruturas, na qual consiste a partir de um sistema de sensores, como acelerômetros e extensômetros, em um arranjo WSN monitorar e alertar falhas nas estruturas com base em técnicas de estatística multivariada.

Outro centro é o *Smart Systems Institute* que, como o nome diz, é focado no estudo e desenvolvimento de sistemas inteligentes com impacto social como os de saúde, segurança e transporte. A base de seus projetos engloba tecnologias como *machine learning*, IoT e análise preditiva. Um de seus aparelhos, chamado de EPOC e visto na figura 4.12, com menos de 2,5 centímetros, consiste em um hardware baseado em Arduino que possibilita a integração de objetos a redes de internet, transformando tais objetos em inteligentes se apropriadamente automatizados. Outro de seus projetos é o *Smart Sail*, uma vela inteligente capaz de medir e monitorar a força e direção dos ventos nas velas e ajustá-las afim de traçar a melhor rota para chegar ao seu destino previamente estipulado.

Figura 4.12: Aparelho EPOC desenvolvido no *Smart Systems Institute* da NUS.

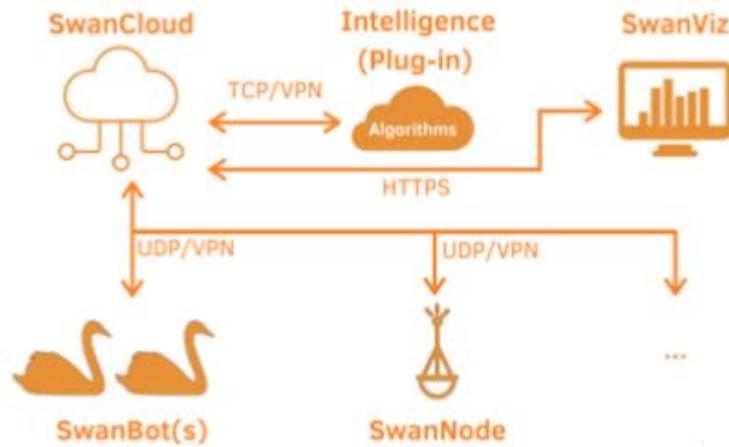


Fonte: (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE, 2021c).

Por último temos também o centro *NUS Environmental Research Institute* que por sua vez mira no desenvolvimento de soluções integradas de sustentabilidade para o meio ambiente. Isso traz um desafio no monitoramento de sistemas ambientais, visto sua gigantesca complexidade em se ter vários parâmetros dinâmicos e até inesperados para análise. Um destes

ambientes são os corpos d'água urbanos, tema de um dos projetos realizados pelo instituto. Afim de estuda-los foi criado um sistema de tempo real, escalável e de custo eficiente a partir de tecnologia adaptativa e “água inteligente” baseada em IoT, evidenciado na figura 4.13 e 4.14.

Figura 4.13: Arquitetura de rede (NUSwan) para IoT utilizada pelo *NUS Environmental Research Institute*.



Fonte: (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE, 2021d).

O projeto integra sensores inteligentes de baixo custo, os *SwanNode*, vistos na figura 4.14, com sensores de padrão industrial, o *SwanBots*, para formar um sistema de monitoramento heterogêneo de nós estáticos e móveis, melhorando a eficiência e precisão da coleta de grande quantidade de dados nos reservatórios.

Figura 4.14: Pacote de sensores inteligentes de baixo custo (*SwanNode*).



Fonte: (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE, 2021d).

5. O MUNDO E A EESC USP

5.1. Paralelos

Como pudemos ver no capítulo anterior as tecnologias disruptivas e internet das coisas veem se mostrando cada vez mais presentes nas melhores faculdades pelo mundo e fazendo parte dos seus investimentos de pesquisa e inovação. É visível, facilmente, que as três faculdades analisadas, MIT, EHTZ e NUS, se adaptaram facilmente ao novo contexto mundial do mundo VUCA. Isso porque, já contavam com uma estrutura maleável nos seus cursos, no qual disponibilizam ao aluno a possibilidade de escolha entre diversas áreas de “especialização”, ainda dentro da graduação. O que se tornou mais uma questão de ofertar mais áreas que atendessem as novas tecnologias, do que propriamente mudar o curso.

Além disso, decidiram investir, também, em centros de pesquisas e/ou integrar aos que já existiam tais variáveis, a fim de serem pioneiros nestes campos de inovação. No entanto, é claro que tudo ainda pareça muito novo e, de certa forma, embrionário. Já que mesmo que existam vários centros e investimentos focados na tecnologia de internet das coisas, poucos são os projetos que amadureceram o suficiente e ganharam a devida estrutura para serem implementados na sociedade até então, sendo ainda um desafio fazer isso de forma a considerar todos os tópicos descritos no capítulo 2.

Se traçarmos um comparativo apenas entre as três faculdades, suas semelhanças são exatamente o que acabamos de discorrer, enquanto que suas diferenças são intrínsecas aos contextos que se encontram, refletidas pelos tipos de projetos desenvolvidos em seus centros de pesquisa e nas suas grades curriculares. Cada qual focada em um campo mais específico, a NUS traz bastante um enfoque no campo social de cidades inteligentes, muito apoiada pelo incentivo do “*Smart Nation*”. Enquanto a EHTZ tenta uma aproximação maior na “tecnologia 4.0”, trazida na análise de dados na produção, e o MIT em pesquisas multidisciplinares ao tentar levar a análise de dados e automação tanto para campos como saúde e energia quanto para um estudo mais técnico e acadêmico, menos social.

Com a mesma natureza, podemos também traçar paralelos das universidades do exterior com a EESC USP. Mesmo que seja recente o movimento realizado pelas faculdades em encontro as tecnologias disruptivas, percebemos uma certa discrepância quando nos voltamos ao curso de engenharia da EESC. Primeiramente, no quesito de gama de possibilidades e áreas disponíveis para os alunos de engenharia se aprofundarem e especializarem ainda na graduação.

Enquanto as faculdades do exterior apresentam diversas possibilidades de ofícios a mais, o curso de engenharia mecatrônica da EESC apenas dá como opção expertise nos campos automobilístico e biomédico. Mostrando a lacuna que o curso tem na formação de profissionais voltados para as novas tecnologias disruptivas como o IoT.

Outro ponto de análise são os centros e institutos de pesquisa. Na USP existem diversos centros de pesquisa, no entanto não vemos uma iniciativa interdisciplinar como nas faculdades exteriores abordadas. Claro que elas ocorrem, mas pelo número de artigos publicados no campo de internet das coisas, figura 4.1, percebemos que é um número pequeno de institutos que as têm como objetivo, ou que as consideram nos seus projetos até então. Em todas as faculdades exteriores pudemos identificar vários centros com iniciativa de alguma forma de tecnologia disruptiva e pelo menos um centro totalmente voltado para a área de desenvolvimento do IoT.

5.2. Propostas

Embora evidente que a USP e a EESC precisem, como um todo, de mais iniciativas e programas de maior integração interdisciplinar entre os cursos, e também com a sociedade, em relação as novas tecnologias, não é trabalho desta monografia sugerir-las, visto que para tal é preciso um estudo mais detalhado e profundo do contexto em que se encontram. Para tanto, o objetivo aqui é fazer isso, especificamente, para o curso de engenharia mecatrônica fornecido pela EESC USP, levando em consideração os 5 desafios atuais levantados no capítulo 2.

Como demonstrado anteriormente, o curso carece de matérias relacionadas a 4º revolução industrial, que estão relacionadas à tecnologia da informação. Assunto tal, que é abordado, na maior parte, de maneira indireta nos cursos das faculdades do exterior. Isso através de poucas matérias desse cunho e de muitos tópicos multidisciplinares que as envolvem. Na ETHZ, por exemplo, uma das áreas de especialização da segunda parte do curso é exatamente em ciência de dados. Enquanto que no MIT encontramos em diversos assuntos de design, robótica e tópicos avançados, como as matérias de tecnologia do esporte e de mecatrônica.

No curso de mecatrônica aqui no Brasil, também evidenciamos seu estudo em alguns casos, principalmente fora da grade obrigatória do curso, como em visão computacional. No entanto, a mecatrônica tem de ser entendida como um curso multidisciplinar em sua essência, fazendo com que a TI seja também uma extensão da mecatrônica, não só parte da engenharia computacional, podendo ser trabalhada em suas matérias mais específicas. Com isso em consideração, conseguimos observar na tabela 11 dois núcleos nas disciplinas categorizadas

como mecatrônica no curso da EESC. Uma visando controle e automação, enquanto a outra envolve trazer experiências aos alunos com problemas e projetos de engenharia reais.

Tabela 11: Divisão das disciplinas da área da mecatrônica em 2 núcleos.

Problemas e Projetos	Controle e Automação
Introdução à Engenharia Geral Mecatrônica	Sistemas de Controle I
Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica I	Sistemas de Controle II
Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica II	Dinâmica e Controle de Sistemas Robóticos I
Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica III	Interfaces Eletromecânicas
Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica IV	Elementos de Automação
Problemas de Engenharia Geral Mecatrônica V	
Projeto de Sistemas Mecatrônicos I	
Projeto de Sistemas Mecatrônicos II	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em ambos os núcleos o TI pode ser trabalhado de forma a aproximar o aluno na 4º revolução industrial. Na verdade, no núcleo de automação e controle ela já é trabalhada, mas de forma básica e simples, ao trazer sensoriamento de *feedback* e monitoramento do ambiente para controle mecânico e elétrico. Entretanto, mesmo assim não traz, e não tem obrigação de trazer, os conceitos mais aprofundados de análise de dados, inteligência artificial ou *big data* que são essenciais para arquitetura e execução da IoT, visto que o objetivo das matérias são outros. O que sobra desses conceitos serem trabalhados no núcleo de Problemas e Projetos ou na elaboração de novas disciplinas para tal fim.

No núcleo de Problemas e Projetos temos um total de 7 matérias, com exclusão da disciplina de introdução, que, de certa forma, são livres para trabalhar conceitos pertinentes a mecatrônica, fazendo com que o aluno vivencie de forma experimental eles, de acordo com que avança pelo curso e detêm mais conhecimento. Para se manter a multidisciplinariedade do curso não é certo utilizar todas elas para focar na IoT e sim dar uma amostra de diferentes campos aos alunos, como empreendedorismo, gestão, aeronáutica, energia, biomecânica e vários outros, sempre levando em consideração o rumo e os desafios do curso extrapolados no capítulo 2.

O que se pode fazer, então, é designar uma, ou duas delas, para abordar diretamente a IoT juntamente com os princípios de TI. Para tanto é necessário que os alunos detenham certo conhecimento mecânico, elétrico e, principalmente, computacional logístico. Assim como, exige que os professores que os ministram estejam preparados para abordar o tema e ensinar conceitos mais aprofundados sobre, visto que é um ramo recente da mecatrônica e que apresentam ainda vários desafios. Com isso em mente, alguns projetos que poderiam ser trabalhados são elencados a seguir.

O primeiro consiste em um monitoramento de ambientes em conjunto com controle e automações de aparelhos que o influenciam. Propor aos alunos, então, que desenvolvessem um sistema de IoT, baseados em arquiteturas como o WSN ou o NUSwan, que coletassem dados do meio escolhido e o controlassem. Um exemplo de ambiente seria o próprio prédio da mecatrônica, no qual o sistema monitoraria e automatizaria efeitos como temperatura, iluminação, limpeza e coleta de lixo. O desafio aqui seria fazer com que ar condicionados e lâmpadas ajustassem-se por conta própria para atender as necessidades, ao mesmo tempo que poderiam ser desenvolvidos robôs autônomos integrados a essa rede para realizar a limpeza do chão e a coleta de lixo.

Outro ambiente de exemplo poderia ser transformar estufas em inteligentes. Sabendo-se os tipos de plantas cultivadas pode-se ter uma gama de parâmetros controláveis automatizados para o seu crescimento ideal, desde temperaturas e iluminação natural, com variação da opacidade e do espectro da luz incidente dos vidros, até irrigação e controle de pesticidas. Em ambos os casos os alunos estariam desenvolvendo uma habilidade em controle e automação de sistemas, simultaneamente trabalhando a coleta, tratamento e análise de dados ao desenvolver uma rede estruturada de IoT, em que cada objeto compartilha informação entre si e podem ser ligadas a uma rede externa.

Um segundo projeto visa o desenvolvimento de aparelhos esportivos ou de sistemas que podem ser embarcados neles. O conceito de desenvolver um aparelho esportivo inteligente como bicicleta, skate ou patins é um tanto mais complexo do que embarcar o sistema diretamente neles, o que talvez exigiria mais do que um aluno de graduação pode fazer, mas é válida a consideração. Isso porque, a ideia aqui é desafiar o aluno a transformar o aparelho em inteligente, a bicicleta, por exemplo, poderia ter um sistema integrado que conversasse diretamente com a rede de internet monitorando sua localização e locomoção ao mesmo tempo que calcula as calorias gastas. Além disso, contar com uma rede de sensores que captam a intensão do usuário e otimizam sua performance aplicando forças compatíveis.

No entanto, aparelhos como os descritos têm muitas variáveis de forças para serem consideradas por um aluno de graduação. Pensando nisso, aparelhos mais simples, como os de reabilitação ou academia, que têm foco em um único músculo, poderiam ser mais viáveis. Um dispositivo de academia poderia contar com sensores internos, como acelerômetros, extensômetros e células de carga, e externos, como relógios e roupas inteligentes, para corrigir a forma de execução do exercício pelo usuário, forçando-o, através de forças aplicadas, a realizar o movimento mais corretamente. Este tipo de projeto incentiva o entendimento de automação e controle pelo aluno, assim como, traz conceitos de biomecânica, monitoramento

e tratamento de dados, sistemas integrados e conexão do mesmo com a rede, ao disponibilizar formas de treinamento customizáveis para cada tipo de usuário, caso quisesse.

Além de trazermos mais TI nas matérias de Problemas e Projetos, pode-se também, como dito anteriormente, criar matérias adicionais, mesmo que optativas, que as trazem de forma multidisciplinar com a mecatrônica. Visto que o Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) já tem um acervo de disciplinas mais voltadas para TI, que qualquer aluno com mais interesse poderia fazer, falhando apenas em aproximar-a dos campos mecânicos e elétricos.

Desta forma, trazer duas matérias que complementem o curso no sentido das tecnologias disruptivas seria o ideal. Uma voltada para arquiteturas e redes de sistemas desenvolvidas para a internet das coisas, aprofundando em vários tipos de sensoriamento e análise de dados. Já outra, mais intima com a indústria 4.0, no qual se é estudado como transformar e trabalhar objetos até então normais, de manufatura ou não, em inteligentes.

6. CONCLUSÃO

Entender como um engenheiro mecatrônico deve se portar num contexto tão desafiador como o mundo VUCA é extremamente difícil e árduo. A questão que as tecnologias disruptivas trazem de rápidas mudanças sem possibilidades de baseamento histórico confiável gera muitas incertezas e subjetividades em sua análise. Fazendo-se, assim, com que o estudo, até aqui, tivesse de ser metódico e meticuloso.

Compreender as transformações da engenharia mecatrônica e da sociedade em relação as revoluções industriais ao longo do tempo, simultaneamente, foram essenciais para entender como o engenheiro se transformou e quais são seus desafios atuais. Assim como, para conseguirmos atingir e assimilar parte dos objetivos propostos por esta monografia, foi essencial perceber como a internet das coisas surgiu e funciona socialmente e tecnicamente.

Para então conseguirmos julgar como ela é inserida no contexto da EESC USP e de algumas universidades renomadas pelo mundo. A busca pelo entendimento minucioso de cada parâmetro suscetível a mudança no cenário da mecatrônica, trouxe ao trabalho uma visão geral e ampla das peculiaridades que a envolvem juntamente com a da IoT. Alcançando-se, assim, a compreensão dos investimentos realizados por cada universidade em seus estudos de casos e a possibilidade de traçar paralelos entre elas.

O que podemos inferir é que o curso de engenharia mecatrônica oferecido pela USP ainda se encontra dentro da compatibilidade vista nas universidades renomadas exteriores. No entanto é fácil a percepção de que elas estão se movendo rumo ao encontro com as tecnologias disruptivas e a IoT, coisa que ainda não se percebe dentro do campus da USP. Exigindo que algumas mudanças e ações, como as propostas, sejam feitas, para que um engenheiro formado na EESC esteja preparado para o mercado de trabalho e detenha melhor o conhecimento para entender, desenvolver, integrar e influenciar sobre as tecnologias disruptivas, num mundo VUCA.

7. REFERÊNCIAS

- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, out. 2010. ISSN 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- BARBOSA, A. S. **Diagnóstico curricular das engenharias mecatrônicas no mundo e paralelos com a Escola de Engenharia de São Carlos**. 2019. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2019.
- BISHOP, R. H. **Mechatronics: An introduction**. CRC Press, 2017. ISBN 10.1201/9781420037241.
- BRADLEY, D. What is Mechatronics and Why Teach it? **International Journal of Electrical Engineering Education**, v. 41, n. 4, p. 275-291, Outubro 2004.
- BRADLEY, D. et al. The Internet of Things - The future or the end of mechatronics. **Mechatronics**, v. 27, p. 57-74, 2015. ISSN 10.1016/j.mechatronics.2015.02.005.
- BRADLEY, D.; HEHENBERGER, P. (Ed.). **Mechatronic Futures: Challenges and Solutions for Mechatronic Systems and Their Designers**. Springer, 2016. ISBN 10.1007/978-3-319-32156-1_1.
- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 59-64, 14 ago. 2018. Disponível em:
<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=15/08/2018&jornal=515&página=59&totalArquivos=215>. Acesso em: 21 de jul. 2020.
- CHIANG, M.; ZHANG, T. Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 6, p. 854-864, dez. 2016. ISSN 23274662.

CHRISTENSEN, C. M. **The innovator's dilemma:** when new technologies cause great firms to fail. [S.l.]: Harvard Business Review Press, 1997.

CHUI, M.; LÖFFLER, M.; ROBERTS, R. The Internet of Things. **Mckinsey & Company**, 2010. Disponivel em: <<https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-internet-of-things>>. Acesso em: 9 Novembro 2020.

COMPETENCE CENTER FOR REHABILITATION ENGINEERING AND SCIENCE. Competence Centre for Rehabilitation Engineering and Science. **ETH Zurich**, 2021. Disponivel em: <<https://resc.ethz.ch/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

COMPUGRAF. SaaS, PaaS e IaaS: formas de serviço em nuvem e o cuidado com a segurança digital. **Compugraf**, 2019. Disponivel em: <<https://www.compugraf.com.br/saas-paas-e-iaas-formas-de-servico-em-nuvem-e-o-cuidado-com-a-seguranca-digital/>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

CONFERÊNCIA DAS NACÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **O futuro que queremos**. In: DECLARAÇÃO FINAL DA CONFERÊNCIA DAS NACÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (RIO +20). Rio de Janeiro: Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. 2012. p. 55.

DIAS, R. P. O Modelo em Cascata. **Medium**, 21 Agosto 2019. Disponivel em: <<https://medium.com/contexto-delimitado/o-modelo-em-cascata-f2418addaf36>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. ETH Zurich. **ETH Zurich**, 2021a. Disponivel em: <<https://ethz.ch/en.html>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. Department of Mechanical and Process Engineering. **ETH Zurich**, 2021b. Disponivel em: <<https://mavt.ethz.ch/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. Bachelor in Mechanical Engineering. **ETH Zurich**, 2021c. Disponivel em: <<https://mavt.ethz.ch/studies/bachelor.html>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. National Centres of Competence in Research (NCCRs). **Swiss National Science Fundation**, 2021c. Disponivel em: <<https://www.snf.ch/en/EcRzGgwFJMZjfnNc/page/national-centres-of-competence-in-research-nccrs#Current%20NCCRs>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. Fokus-Vertiefung: Empfohlene Wahlfächer / Focus Specialization: Recommended Electives. **ETH Zurich**, 2021d. Disponivel em: <<https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mavt/department-dam/studium/bachelor/documents/empfohlene-wahlfaecher.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

FEDERAL TRADE COMMISSION. **Privacy & Security in a Connected World**. [S.l.], p. 55. 2015.

GOVERNMENT OF SINGAPORE. Smart Nation Singapore. **Smart Nation Singapore**, 2020. Disponivel em: <<https://www.smartnation.gov.sg/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

HASSENZAHL, M. **User Experience and Experience Design The Mill Sessions View project Fundamentals of user experience View project**. [S.l.].

HEHENBERGER, P.; WIKANDER, J. Special issue mechatronics: Model-based mechatronic system design. **Mechatronics**, v. 24, n. 7, p. 743-744, 2014. ISSN 10.1016/j.mechatronics.2014.09.009.

IDDO, D. Agile Development. **Medium**, 2019. Disponivel em: <<https://medium.com/moodah-pos/agile-development-95cad3573abf>>. Acesso em: 16 Junho 2020.

JOVANOVIC, V.; VERMA, A.; TOMOVIC, M. **Development of Courses in Mechatronics and Mechatronic System Design within the Mechanical Engineering Technology Program**. [S.l.]. 2013.

KAIVO-OJA, J. R. L.; LAURAEUS, I. T. The VUCA approach as a solution concept to corporate foresight challenges and global technological disruption. **Foresight**, v. 20, n. 1, p. 27-49, Março 2018.

KAMEL BOULOS, M. N.; AL-SHORBAJI, N. M. On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities. **International Journal of Health Geographics**, v. 13, mar. 2014. ISSN 1476072X.

LGPD - Lei Geral de Proteção de Dados. **Serpro**. Disponível em: <<https://www.serpro.gov.br/lgpd/>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MACARTHUR, G. **Making User Experience a Business Strategy**. [S.l.]. 2007.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. MIT - Massachusetts Institute of Technology. **MIT - Massachusetts Institute of Technology**, 2021a. Disponível em: <<https://www.mit.edu/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Welcome! < MIT. **MIT - Massachusetts Institute of Technology**, 2021b. Disponível em: <<http://catalog.mit.edu/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

MCCORMICK, M. **Waterfall vs. Agile Methodology**. MPCS, Inc. [S.l.], p. 8. 2012.

MCHAREK, M. et al. Knowledge sharing for mechatronic systems design and optimization. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 1365-1370, 2018. ISSN 10.1016/j.ifacol.2018.08.338.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy**. McKinsey Global Institute. [S.l.]. 2013.

MICROSOFT. O que é PaaS? **Microsoft Azure**, 2020. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-paas/>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

MICROSOFT. O que é IaaS? **Microsoft Azure**. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-iaas/>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

MICROSOFT. O que é o SaaS? **Microsoft Azure**. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-saas/>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

MIT COMPUTER SCIENCE & ARTIFICIAL INTELLIGENCE LAB. MIT CSAIL. **MIT CSAIL**, 2021. Disponível em: <<https://www.csail.mit.edu/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

MIT INSTITUTE FOR DATA, SYSTEMS, AND SOCIETY. IDSS. **IDSS**, 2021. Disponível em:

<<https://idss.mit.edu/#:~:text=Institute%20for%20Data%2C%20Systems%2C%20and,decision%20systems%2C%20and%20social%20sciences.>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

MIT MEDIA LAB. MIT Media Lab. **MIT Media Lab**, 2021a. Disponível em: <<https://www.media.mit.edu/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

MIT MEDIA LAB. Scalable and Ultra-Low Power Ocean IoT. **MIT Media Lab**, 2021b. Disponível em: <<https://www.media.mit.edu/projects/ultra-wideband-underwater-backscatter-via-piezoelectric-metamaterials/overview/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

MURÇA, G. Conheça as principais conferências ambientais do mundo. **Revista Quero**, 2020. Disponível em: <<https://querobolsa.com.br/revista/conheca-as-principais-conferencias-ambientais-do-mundo>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Curriculum Structure. **NUS - National University of Singapore**, 2021a. Disponível em: <<https://www.eng.nus.edu.sg/me/undergraduate/beng-me/curriculum/>>. Acesso em: 16 jun. 2021.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Smart Systems Institute. **NUS - National University of Singapore**, 2021c. Disponível em: <<https://ssi.nus.edu.sg/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Smart Water and Adaptive Technology – Big-Data Collection from the Environment. **NUS - National University of Singapore**, 2021d.

Disponivel em: <<https://nus.edu.sg/neri/smart-water-and-adaptive-technology-big-data-collection-from-the-environment/#>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Department of Mechanical Engineering. **NUS - National University of Singapore**, 2021e. Disponivel em: <<https://www.eng.nus.edu.sg/me/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. NUS - National University of Singapore. **NUS - National University of Singapore**, 2021f. Disponivel em: <<https://www.nus.edu.sg/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Environmental Research Institute. **NUS - National University of Singapore**, 2021g. Disponivel em: <<https://nus.edu.sg/neri/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Centre for Advanced Materials and Structures. **NUS - National University of Singapore**, 2021h. Disponivel em: <<https://www.eng.nus.edu.sg/cee/research/research-centres/centre-for-advanced-materials-and-structures/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPURE. Build Your Own Degree. **NUS - National University of Singapore**, 2021b. Disponivel em: <<https://www.eng.nus.edu.sg/me/undergraduate/beng-me/build-your-own-degree/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

NCCR DEPENDABLE UBIQUITOUS AUTOMATION. Automatic Control Laboratory. **ETH Zurich**, 2021. Disponivel em: <<https://control.ee.ethz.ch/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NGUYEN, M. H. T. et al. Piecewise affine modeling and compensation in motion of linear ultrasonic actuators. **Mechatronics**, v. 27, p. 20-27, 2015. ISSN 10.1016/j.mechatronics.2015.01.006.

NIKOLIĆ, V. et al. Extreme learning machine approach for sensorless wind speed estimation. **Mechatronics**, v. 34, p. 78-83, 2016. ISSN 10.1016/j.mechatronics.2015.04.007.

PIRES, A. O. Ninja Blocks – Uma opção de automação residencial sem fio para desenvolvedores. **Embarcados**, 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/ninja-blocks/>>. Acesso em: 21 jul. 2020.

POSITIVO TECNOLOGIA. [Infográfico] SaaS, IaaS, PaaS e HaaS: entenda a diferença de uma vez por todas! **Panorama Positivo**, 2017. Disponível em: <<https://www.meupositivo.com.br/panoramapositivo/saas-iaas-paas-e-haas/>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

PUTRA, A. S. et al. Enhancing student participation in a design-centric mechatronics class. **Mechatronics**, v. 23, n. 8, p. 918-925, 2013. ISSN 10.1016/j.mechatronics.2013.02.009.

QUACQUARELLI SYMONDS. QS Rankings Report. **QS | A Leading Global Education Network**, 2021. Disponível em: <<https://www qs.com/>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

RAY, P. P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, Siquim, v. 30, n. 3, p. 291-319, 8 Outubro 2018. ISSN 22131248.

REDE INDIGO. Mundo VUCA: o que é e como se preparar. **Rede Indigo**, 2020. Disponível em: <<https://redeindigo.com.br/mundo-vuca-preparar/>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A Complex View of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, 1 jun. 2016. ISSN 10.1177/2158244016653987.

ROTO, V. User Experience from Product Creation Perspective. **Towards a UX Manifesto**, Lancaster, v. 31, p. 31-34, 3 Setembro 2007.

ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Infrastructure, engineering and climate change adaptation: ensuring services in an uncertain future**. Engineering the Future. Londres: Royal Academy of Engineering, 2011. p. 107.

ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Smart infrastructure : the future**. Londres. 2012.

SALESFORCE. Novo em SaaS? Bem-vindo! **Salesforce**. Disponivel em: <<https://www.salesforce.com/br/saas/>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

SANTO DIGITAL. O que é IaaS e quais os principais motivos para usá-la? **Santo Digital**. Disponivel em: <<https://santodigital.com.br/o-que-e-iaas-e-quais-os-principais-motivos-para-usa-la/>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

SCIENCE & TECHNOLOGY. How to send underwater messages without batteries. **The Economist**, 2020. Disponivel em: <<https://www.economist.com/science-and-technology/2020/10/17/how-to-send-underwater-messages-without-batteries>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

SEMINARA, L.; CAPURRO, M.; VALLE, M. Tactile data processing method for the reconstruction of contact force distributions. **Mechatronics**, v. 27, p. 28-37, 2015. ISSN 10.1016/j.mechatronics.2015.02.001.

SHANGHAI RANKING CONSULTANCY. Academic Ranking of World Universities. **Shanghai Ranking**, 2021. Disponivel em: <<http://www.shanghairanking.com/>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SOUSA, R. Conferências ambientais. **Brasil Escola**. Disponivel em: <<https://brasilescola.uol.com.br/geografia/conferencias-ambientais.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SPECIAL INTEREST GROUP. **A roadmap for interdisciplinary research on the Internet of Things**. In: IOT Internet of Things Special Interest Group. Loughborough: Special Interest Group. 2011. p. 17.

STANKOVIC, J. A. Research directions for the internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 1, n. 1, p. 3-9, 1 fev. 2014. ISSN 10.1109/JIOT.2014.2312291.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. World Reputation Rankings 2020. **THE World University Rankings**, 2021. Disponivel em: <<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings>>.

university-rankings/2020/reputation-ranking#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats>. Acesso em: 14 jun. 2021.

TOMIZUKA, Masayoshi. **Mechatronics: from the 20th to 21st century**. Control engineering practice, v. 10, n. 8, p. 877-886. 2002.

TÖRNGREN, M. et al. Integrating viewpoints in the development of mechatronic products. **Mechatronics**, v. 24, n. 7, p. 745-762, 1 out. 2014. ISSN 10.1016/j.mechatronics.2013.11.013.

U.S. ARMY HERITAGE AND EDUCATION CENTER. Who first originated the term VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity). **USAHEC Ask Us a Question**, v. 16, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. O que é? **RFID - Identificação Rádio Frequência**. Disponivel em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/12_1/rfid/links/o_que_e.html>. Acesso em: 7 abr. 2021.

USER CENTRED DESIGN. **Interaction Design Foundation**. Disponivel em: <<https://www.interaction-design.org/literature/topics/user-centered-design>>. Acesso em: 3 set. 2020.

V-MODEL: What Is It And How Do You Use It? **Airbrake**, 2016. Disponivel em: <<https://airbrake.io/blog/sdlc/v-model>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

WORLD FOOD SYSTEM CENTER. World Food System Center. **ETH Zurich**, 2021a. Disponivel em: <<https://worldfoodsystem.ethz.ch/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

WORLD FOOD SYSTEM CENTER. ETH Studio AgroFood. **ETH Zurich**, 2021b. Disponivel em: <<https://worldfoodsystem.ethz.ch/research/flagship-projects/eth-studio-agrofood.html>>. Acesso em: 27 jun. 2021.