

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

ARTHUR SILVA BARBOSA

DIAGNÓSTICO CURRICULAR DAS ENGENHARIAS MECATRÔNICAS
NO MUNDO E PARALELOS COM A ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO
CARLOS

São Carlos

2019

ARTHUR SILVA BARBOSA

DIAGNÓSTICO CURRICULAR DAS ENGENHARIAS MECATRÔNICAS
NO MUNDO E PARALELOS COM A ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO
CARLOS

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

Orientadora: Prof.^a Dra. Máira Martins da
Silva

São Carlos

2019

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).

B788d Barbosa, Arthur
 DIAGNÓSTICO CURRICULAR DAS ENGENHARIAS
MECATRÔNICAS NO MUNDO E PARALELOS COM A ESCOLA DE
ENGENHARIA DE SÃO CARLOS / Arthur Barbosa; orientadora
Maira Martins. São Carlos, 2019.

 Monografia (Graduação em) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2019.

 1. Industria 4.0. 2. Engenharia Mecatrônica no Mundo.
3. Rankings de Engenharia. 4. Diagnóstico Curricular do
curso de Engenharia Mecatrônica da EESC.
5. Extrapolar da Engenharia Mecânica. I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato: Arthur Silva Barbosa

Título: Diagnóstico Curricular das Engenharias Mecatrônicas no Mundo e Paralelos com a Escola de Engenharia de São Carlos

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

BANCA EXAMINADORA

Professora Associada Malra Martins da Silva
(Orientadora)

Nota atribuída: 10 (dez)

Maria M. da Silva
(assinatura)

Professora Doutora Luciana Montanari
Nota atribuída: 10 (dez)

Luciana Montanari
(assinatura)

Professor Associado Rodrigo Nicoletti

Nota atribuída: 10 (dez)

Rodrigo Nicoletti
(assinatura)

Média: 10,0 (dez)

Resultado: APROVADO

Data: 05/09/2019

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

SIM ☒ NÃO ☐ Visto do orientador Maria M. da Silva

*Nada é verdadeiro, tudo é
permitido. Faze o que tu queres há
de ser tudo da Lei.*

AGRADECIMENTOS

A minha família que sempre me proporcionou todo o suporte e toda a ajuda necessária para meus estudos.

A todos os meus professores, em especial aos professores: Dr. Rodrigo Nicoletti, Dra. Maíra Martins da Silva, Dra. Marcia Federson, Dra. Luiza Codá e Dr. Leopoldo Pisanelli Rodrigues de Oliveira por serem exemplos para os alunos e professores dedicados e genuinamente preocupados com o ensino.

A todos os meus amigos e companheiros de curso, em especial aos amigos: Ozita Salustiano, Isaak Machado, Amanda Arenales, Caique Garbin, Matheus Costa, André Cecchi e a turma de 2014.

Aos integrantes da minha república e amigos jogadores de League of Legends.

A minha grande amiga, namorada e companheira Izadora Pivotto Abe que sempre esteve ao meu lado quando precisei e sempre me deu forças nos momentos de fraqueza.

A toda equipe da Sematron.

Aos amigos que, embora morando distante, sempre moraram em meu coração, em especial os amigos: Messias Ladeia, Yuri Almeida, Lorena Rosa, Hanna Santana, Iasmin Rosa, Gabriel Viana, aos amigos do Juvêncio Terra, da Ordem Demolay e do meu bairro de infância.

A equipe Tupã, em especial ao membros e amigos: Lucas Marques, André Cavalcante, Bruno Moreira, Rafael Resende, Othon Perrone, Christian Ferrão, Jonatas Puspi, Daniela Arantes, Diogo Sato, Lucas Gouvea, Pedro Mantegazza e Valter teodoro.

A todos os professores que passaram pela minha vida, em especial a Abigail Guimarães que se tornou uma das referências morais e intelectuais em minha formação.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a formação dos engenheiros mecatrônicos/mecânicos ao redor do mundo para que mudanças no curso de Engenharia Mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) sejam propostas. A escolha das universidades investigadas se deu pela seleção de 3 critérios: disposição geográfica, classificação em rankings internacionais e facilidade no acesso às informações. Após a escolha das instituições, a grade horária necessária ao título de engenheiro mecânico/mecatrônico foi tabelada a fim de análises estatísticas serem feitas. O estudo em questão evidenciou uma definição de engenharia mecatrônica como um extrapolar da engenharia mecânica bem como a formação de profissionais mais direcionados à indústria 4.0. Os dados obtidos foram estruturados conforme a convergência das matérias estudadas e, posteriormente, uma proposta de mudança no curso de engenharia da EESC foi feita com o intuito de aproximar o curso da EESC das escolas melhor classificadas no estudo. Observou-se que o engenheiro mecatrônico da Escola de Engenharia de São Carlos carece de matérias de controle, humanidades e matérias direcionadas a novos paradigmas industriais.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Engenharia Mecatrônica no Mundo, Rankings de Engenharia, Diagnóstico Curricular do curso de Engenharia Mecatrônica da EESC, Extrapolar da Engenharia Mecânica.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the formation of mechatronic / mechanical engineers around the world so that changes in the Mechatronic Engineering course at the School of Engineering of São Carlos (EESC) are proposed. The choice of the investigated universities was based on the selection of 3 criteria: geographic layout, classification in international rankings and ease of access to information. After choosing the institutions, the time schedule required for the title of mechanical / mechatronic engineer was tabulated for statistical analysis to be made. The study in question evidenced a definition of mechatronics engineering as an extrapolation of mechanical engineering as well as the training of industry-oriented professionals 4.0. The data obtained were structured according to the convergence of the studied subjects and, subsequently, a proposal for a change in the EESC engineering course was made in order to bring the EESC course closer to the higher ranked schools in the study. It was observed that the mechatronic engineer of the School of Engineering of São Carlos lacks control subjects, humanities and subjects directed to new industrial paradigms.

Keywords: Industry 4.0, Mechatronics Engineering in the World, Engineering Rankings, Curriculum Diagnosis of the Mechatronics Engineering course at EESC, Extrapolar Mechanical Engineering.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Resultados de pesquisa no Google Scholar para artigos com um ou ambos os termos “ <i>mechatronic</i> ” e “ <i>mechatronics</i> ” no título no período 1969–2013 | 27 |
| Figura 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 | 28 |
| Figura 3- Mechatronics subject areas derived from a keyword search using Web of Knowledge and IEEE Xplore for the years 2000 and 2010 | 28 |
| Figura 4- Development and diversification of core mechatronics technologies in the period 1970–2010 | 30 |
| Figura 5- A conceptual model of a conventional mechatronic system. | 31 |
| Figura 6 - Cloud based systems, or the Internet of Things. | 31 |
| Figura 7 - Results of a search on Google Scholar for publications using Internet of Things .. | 31 |
| Figura 8 - Growth in connectivity..... | 32 |
| Figura 9 - Cloud based system configuration..... | 33 |
| Figura 10 - Evolution of mechatronics | 35 |
| Figura 11 - Gráfico de contagem de áreas do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos | 45 |
| Figura 12 - Gráfico de contagem de áreas do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos 2..... | 45 |
| Figura 13 Gráfico de contagem de áreas de interesse do curso de Engenharia Elétrica Automação da Escola de Engenharia de São Carlos | 48 |
| Figura 14 - Gráfico de contagem de áreas de interesse do curso Engenharia de Computação Escola de Engenharia de São Carlos..... | 51 |
| Figura 15 - Gráfico de contagem de áreas de interesse do curso Engenharia Mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos..... | 52 |
| Figura 16 - Gráfico de interseção de campos de atuação dos engenheiros formados nos cursos analisados..... | 52 |
| Figura 17 - Gráfico dos campos de atuação do curso de Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação | 53 |
| Figura 18 - Gráfico dos campos de atuação do curso de Engenharia de computação | 53 |
| Figura 19 - Gráfico dos campos de atuação do curso de Engenharia Mecatrônica | 54 |
| Figura 20 - Gráfico da disposição de cursos oferecidos pela Caltech | 63 |
| Figura 21 - Gráfico de disposição de áreas do curso de engenharia mecânica da Delft | 65 |

| | |
|--|-----|
| Figura 22 - Opções de curso e mestrado da ETHZ..... | 67 |
| Figura 23 - Disposição de matérias do curso de engenharia mecânica da ETHZ | 68 |
| Figura 24 - Estrutura do curso de engenharia mecânica da ETHZ..... | 70 |
| Figura 25 - Disposição das matérias em conhecimentos do curso de engenharia mecânica da Georgia Tech | 74 |
| Figura 26 - Disposição das matérias em áreas do curso de engenharia mecânica da Georgia Tech..... | 74 |
| Figura 27 - Gráfico de disposição de matérias do curso de engenharia mecânica de Harvard | 77 |
| Figura 28 - Disposição de disciplinas do curso de engenharia mecânica do MIT | 79 |
| Figura 29 - Estrutura geral dos cursos da HKU..... | 83 |
| Figura 30 - Disposição das matérias do curso de engenharia mecânica da HKU | 84 |
| Figura 31 - Características marcantes da NUS..... | 90 |
| Figura 32 - Estrutura Curricular do curso de engenharia da NUS..... | 91 |
| Figura 33 - Disposição curricular do curso de engenharia mecânica da NUS | 91 |
| Figura 34 - Disciplinas oferecidas no curso de engenharia mecânica da NUS | 92 |
| Figura 35 - Disposição das disciplinas eletivas ofertadas pela NUS | 94 |
| Figura 36 - Metodologia de análise de comparação dos cursos investigados com o curso da EESC..... | 95 |
| Figura 37 - Gráfico referente a contagem de disciplinas classificadas conforme a convergência de disciplinas da EESC | 99 |
| Figura 38 - Disposição das matérias da EESC conforme a convergência nas Universidades Estudadas..... | 100 |
| Figura 39 - Possibilidades de classificação enquanto presença nas universidades | 101 |
| Figura 40 - Gráfico de convergência das matérias sem a exclusão dos pontos discrepantes . | 102 |
| Figura 41 - Gráfico de convergência das matérias com a exclusão dos pontos discrepantes | 103 |
| Figura 42 - Matéria de transição de cores | 105 |
| Figura 43 - Propostas de implementação na grade curricular do curso de engenharia mecatrônica da EESC..... | 108 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Seleção das Universidades investigadas - QS..... | 41 |
| Tabela 2 - Seleção das Universidades investigadas – ARWU, Mecânica | 41 |
| Tabela 3 - Seleção das Universidades investigadas - THE | 41 |
| Tabela 4 - Seleção das Universidades investigadas – ARWU, Controle e Automação | 42 |
| Tabela 5 - Contagem de áreas da grade do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos | 44 |
| Tabela 6 - Contagem de áreas de interesse da grade do curso de Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos . | 48 |
| Tabela 7 - Contagem de áreas de interesse da grade do curso de Engenharia de Computação mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos | 50 |
| Tabela 8 - Contagem de áreas de interesse da grade do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos..... | 51 |
| Tabela 9 – Grau de Correlação entre a EESC e as Universidades analisadas | 107 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Aplicações da mecatrônica no contexto da Indústria 4.0 | 34 |
| Quadro 2 - Grade horária do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos | 43 |
| Quadro 3 - Grade horária do curso de Engenharia Elétrica Automação da Escola de Engenharia de São Carlos | 47 |
| Quadro 4 - Grade horária do curso de Engenharia de Computação da Escola de Engenharia de São Carlos..... | 49 |
| Quadro 5 - Grade Curricular do curso de engenharia mecânica da Caltech | 60 |
| Quadro 6 - Grade Curricular da Minor em controle da Caltech..... | 61 |
| Quadro 7 - Disciplinas do departamento de Mecânica da Caltech..... | 61 |
| Quadro 8 - Grade Curricular do curso de engenharia mecânica da Delft | 64 |
| Quadro 9 - Grade Curricular da Minor em controle da Delft..... | 65 |
| Quadro 10 - Grade Curricular da Minor em Opto-Mechatronics da Delft | 66 |
| Quadro 11 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica da ETHZ e Mestrado em Robótica e Controle | 69 |
| Quadro 12 - Concentrações em engenharia mecânica da Georgia Tech..... | 71 |
| Quadro 13 - Concentrações em engenharia industrial da Georgia Tech..... | 71 |
| Quadro 14 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica da Georgia Tech..... | 72 |
| Quadro 15 - Concentração em robótica e automação da Georgia tech..... | 73 |
| Quadro 16 - Minor em robótica da Georgia tech..... | 73 |
| Quadro 17 - Programas de graduação em engenharia de Havard..... | 75 |
| Quadro 18 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica de Harvard | 76 |
| Quadro 19 - Matérias eletivas em engenharia em Harvard..... | 77 |
| Quadro 20 - Grandes áreas de pesquisa em mecânica de Harvard..... | 78 |
| Quadro 21 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica do MIT..... | 80 |
| Quadro 22 - Matérias complementares do curso de engenharia mecânica do MIT | 81 |
| Quadro 23 - Concentrações em engenharia do MIT..... | 82 |
| Quadro 24 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica da HKU..... | 84 |
| Quadro 25 - Disciplinas comuns a todos os estudantes da HKU | 85 |
| Quadro 26 - Especializações para engenheiros oferecidas pela HKU | 86 |
| Quadro 27 - Grade horária do curso de engenharia mecânica da RWTH..... | 87 |
| Quadro 28 - Programas de mestrado em engenharia oferecidos pela RWTH..... | 88 |

| | |
|--|----|
| Quadro 29 - Matérias oferecidas no programa de mestrado em automação pela RWTH..... | 89 |
| Quadro 30 - Disciplinas eletivas para estudantes de engenharia da NUS..... | 93 |
| Quadro 31 - Matérias oferecidas na especialização em robótica pela NUS..... | 94 |
| Quadro 32 - Escala de convergência..... | 97 |
| Quadro 33 - Classificação das matérias do curso de engenharia da EESC conforme a convergência..... | 97 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 23 |
| 1.1 Justificativa..... | 24 |
| 1.2 Objetivos | 24 |
| 1.3 Metodologia..... | 25 |
| 2. FRONTEIRAS DA ENGENHARIA MECATRÔNICA..... | 27 |
| 3. TRIAGEM DE UNIVERSIDADES | 37 |
| 3.1 Seleção de rankings internacionais | 37 |
| 3.1.1 <i>Quacquarelli Symonds (QS)</i> | 37 |
| 3.1.2 <i>Academic Ranking of World Universities (ARWU)</i> | 38 |
| 3.1.3 <i>Times Higher Education (THE)</i> | 39 |
| 3.2 Seleção das universidades | 40 |
| 4. ENGENHARIA MECATRÔNICA – EESC..... | 43 |
| 4.1 Macro Áreas e interseção – compilação de dados | 46 |
| 4.1.1 <i>Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação</i> | 46 |
| 4.1.2 <i>Engenharia de Computação</i> | 49 |
| 4.1.3 <i>Engenharia Mecatrônica</i> | 51 |
| 4.2 Macro Áreas e interseção – Análise Gráfica | 52 |
| 5. ENGENHARIA MECATRÔNICA NO MUNDO | 55 |
| 5.1 Europa | 55 |
| 5.2 América do Norte | 56 |
| 5.3 Ásia | 57 |
| 6. TRATAMENTO DE DADOS | 59 |
| 6.1 Modelagem estatísticas | 59 |
| 6.2 Coleta e análise de dados | 59 |
| 6.2.1 <i>California Institute of Technology (Caltech)</i> | 59 |
| 6.2.2 <i>Delft University of Technology</i> | 63 |
| 6.2.3 <i>ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ)</i> | 67 |
| 6.2.4 <i>Georgia Institute of Technology</i> | 70 |
| 6.2.5 <i>Harvard University</i> | 75 |
| 6.2.6 <i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i> | 78 |
| 6.2.7 <i>University of Hong Kong</i> | 82 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.2.8 | <i>RWTH Aachen University</i> | 86 |
| 6.2.9 | <i>National University of Singapore</i> | 89 |
| 6.3 | Análise estatística de Convergência do curso da EESC | 95 |
| 7 | PARALELOS: EESC X MUNDO | 105 |
| 8 | PROPOSTA FINAL | 107 |
| 9 | CONCLUSÃO..... | 109 |
| | REFERÊNCIAS..... | 111 |

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, a vanguarda da engenharia passa por um momento único na história: a 4ª Revolução Industrial. De posse dessa informação, 3 perguntas surgem como consequência: “O que define a Indústria 4.0 ”; “O que a Indústria 4.0 traz de nova proposta para a Engenharia?”; e, por fim “Qual deve ser a formação do Engenheiro Mecatrônico nesse novo paradigma? ”.

O presente trabalho visa analisar esse novo paradigma tecnológico sob a ótica da academia, em especial a Engenharia Mecatrônica. As seguintes questões serão investigadas: “Qual a grade curricular oferecida pelas grandes escolas de engenharia da atualidade?”; “A Escola de Engenharia de São Carlos está alinhada com as expectativas da Indústria 4.0?”; e, não menos importante, “Existe algo que possa ser mudado na grade do curso de Engenharia Mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos que possa atender ao perfil do Engenheiro da Indústria 4.0?”.

Antes de apurar mais a fundo as questões propostas, faz-se necessária a análise mais profunda do conceito de Engenharia Mecatrônica, uma vez que existe uma discordância em algumas definições da área. Outro ponto a ser investigado diz respeito à divisão entre Engenharia Mecatrônica e Engenharia Mecânica no Brasil e no mundo. Em algumas escolas de renome mundial, essa divisão não está clara ou não é delimitada como nas escolas brasileiras.

Atualmente existe uma discussão sobre o papel e as competências do engenheiro mecatrônico moderno. Mais amplamente, deve-se determinar o que existe de intersecção entre o engenheiro de outras áreas e o engenheiro mecatrônico.

As questões serão abordadas sobre dois grandes vieses, um qualitativo e outro quantitativo. As análises quantitativas seguirão uma abordagem estatística para evitar algum viés de confirmação que possa surgir do estudo. O uso de ferramentas e softwares estatísticos auxiliaram as análises gráficas e os possíveis paralelos que serão traçados.

O direcionamento final do estudo será concluído com a proposta de uma mudança na grade curricular do curso de Engenharia Mecatrônica da EESC. A proposta em questão terá como objetivo o alinhamento da formação do engenheiro formado pela EESC e o engenheiro formado pelas grandes escolas de engenharia do mundo.

1.1 Justificativa

A motivação primária do estudo nasce do desconhecimento dos estudantes e, em certa medida, do corpo docente da engenharia mecatrônica no mundo. A priori, esse entendimento não se faz necessário para o estudante em seus primeiros anos de graduação, entretanto, com o passar do estudo, o profissional da área deve entender de modo claro sua posição quanto engenheiro.

Outra grande justificativa para o estudo vem do seguinte questionamento: “O ensino e o currículo do engenheiro mecatrônico formado pela EESC estão alinhados com a vanguarda da engenharia?”. A Escola de Engenharia de São Carlos está posicionada como uma das melhores escolas de Engenharia da América Latina, o que evidencia o sucesso do ensino e disciplinas fornecidas pela faculdade. Outro pilar para esse sucesso, está no perfil dos estudantes que ingressam na faculdade, pois passam por um rigoroso processo de seleção.

Se a Escola de Engenharia de São Carlos está bem posicionada em todos os rankings das universidades brasileiras, esse estudo ainda se faz necessário? A resposta para essa questão é sim, uma vez que a diversidade de formas de ensino no planeta é absurdamente rica e diversa. Além e aquém das limitações infraestruturais e orçamentárias, existem mudanças curriculares ou estruturais que podem ser implementadas para a melhoria do curso? A resposta para essa questão também é sim, existem.

Outra motivação pertinente é a necessidade de uma investigação que mostre as diferenças entre o profissional formado na EESC e os profissionais formados em outras escolas do globo. O que distingue o engenheiro norte-americano ou o engenheiro alemão do engenheiro brasileiro? Essa questão é de fundamental interesse para os ingressantes no mercado profissional, pois ela é uma das questões que delimitam a atuação e as competências do engenheiro mecatrônico brasileiro e moderno.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é avaliar as práticas de engenharia das melhores universidades em nível mundial. Objetiva-se comparar o curso de Engenharia Mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) com as metodologias de ensino apresentadas nas demais universidades.

Desta forma, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Buscar informações e dados sobre os cursos de Engenharia Mecatrônica e Mecânica das universidades de renome mundial;
- Comparar as matérias oferecidas entre as universidades em estudo com a EESC;
- Propor uma mudança no curso de graduação da Escola de Engenharia de São Carlos alinhada com as melhores práticas de engenharia;
- Entender como a Engenharia Mecatrônica se comporta no mundo;
- Determinar métricas quantitativas para as análises propostas;
- Posicionar o curso de graduação da EESC diante de outras escolas de engenharia.

1.3 Metodologia

Com a finalidade de desenvolver uma análise comparativa e estudar o desenvolvimento de um curso recente no Brasil, este trabalho será dividido nas seguintes etapas:

- Escolha das universidades: busca por universidades de renome em rankings internacionais de ensino de engenharia. Essa investigação, a princípio, não selecionará apenas Engenharia Mecatrônica, uma vez que muitas vezes ela se mistura com Engenharia Mecânica;
- Análise estatística: modelagem de variáveis de interesse e extração de métricas;
- Captação de recursos e dados: pesquisa por informações das universidades escolhidas.
- Tratamento estatístico: os dados serão tratados para a avaliação de métricas visando descrever, estatisticamente, os cursos em questão;
- Relação entre as universidades de estudo: análise gráfica, comparativo e conclusões dos estudos e dados obtidos por meio de análises quantitativas e qualitativas.

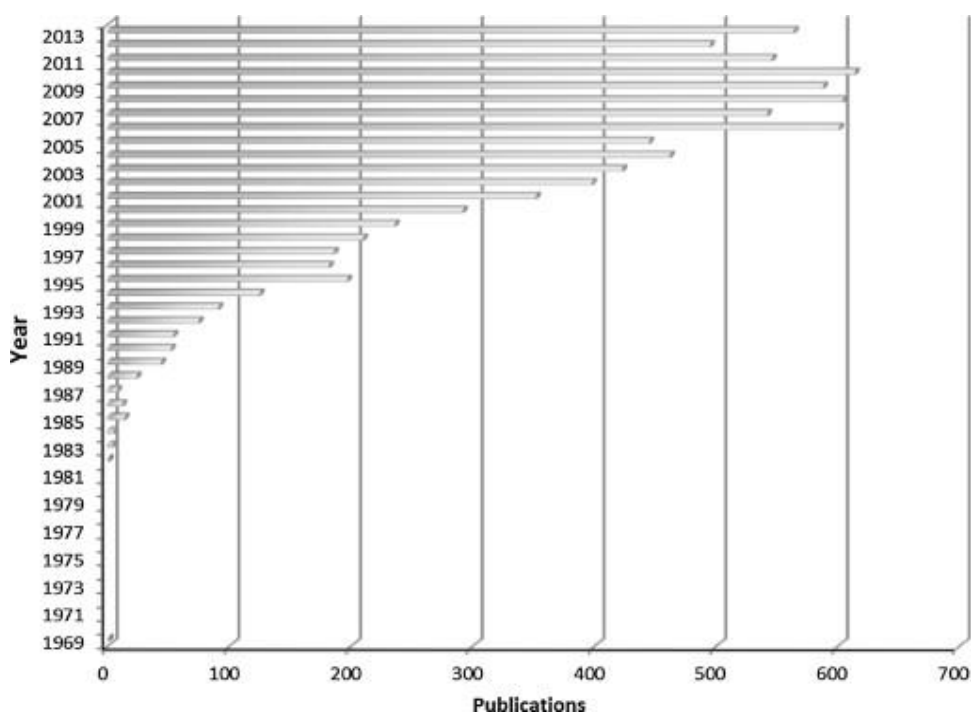
2. FRONTEIRAS DA ENGENHARIA MECATRÔNICA

As inovações pós segunda guerra mundial foram de fundamental importância para a evolução da engenharia como um todo. Dentre as diversas evoluções tecnológicas, podemos citar a construção de computadores mecânicos e eletromecânicos.

Dispositivos com cartões perfurados eram usados para processamento digital de informações já na década de 30. O ENIAC foi criado na década de 50, o primeiro computador de grande escala: 18.000 válvulas. Foi o primeiro de uma série de máquinas similares construídas depois da 2ª Grande Guerra. O custo de um transistor integrado tornou-se menor que o de um transistor discreto já na década de 70. As evoluções tecnológicas do século 20, em especial após os anos de 1980, mudaram o paradigma da engenharia mundial.

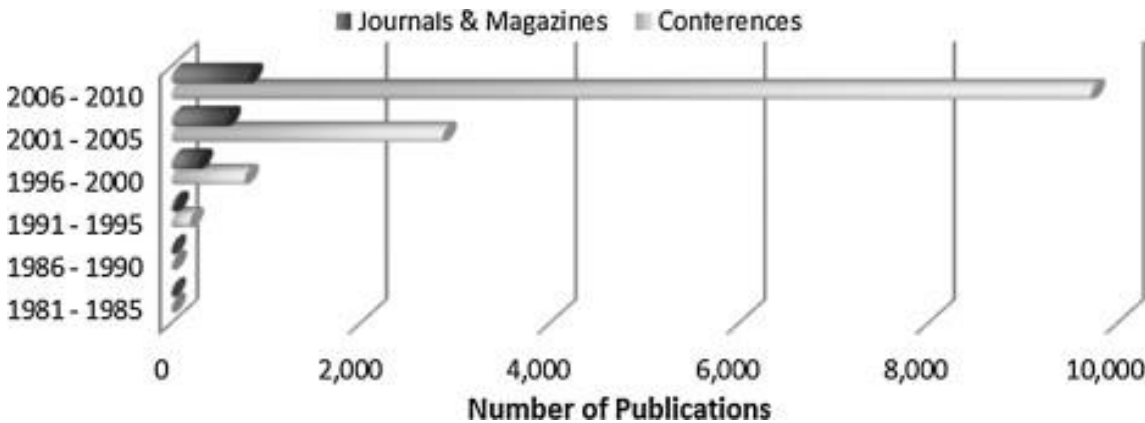
O termo “mecatrônico” surgiu em meados da década de 70 com o advento e evolução de uma série de componentes eletrônicos e computacionais para o controle, criação e manutenção de sistemas mecânicos. Os sistemas eletrônicos integrados e o advento de microprocessadores foram parcialmente introduzidos na engenharia mecânica. A Figura 1 e a Figura 2, abaixo, mostram o número de artigos que incorporam os termos “*mechatronic*” ou “*mechatronics*” em seus títulos ao longo do século 20.

Figura 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 *et al.* (2015)

Figura 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 1981–2010

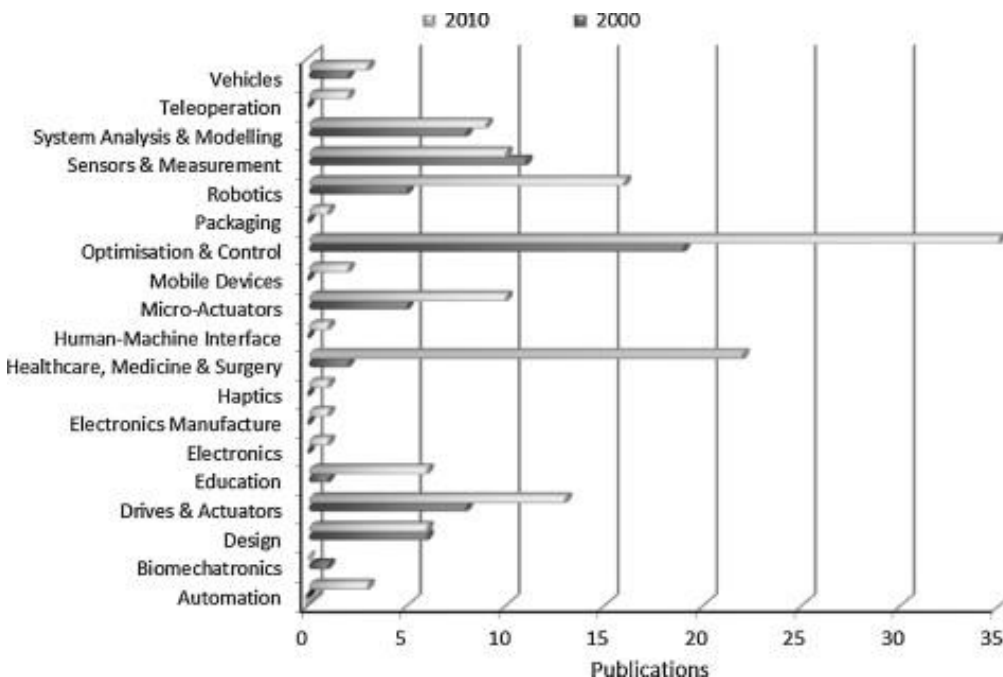


Fonte: Bradley *et al.* (2015)

Os números apresentados evidenciam que a Engenharia Mecatrônica começou a se desenvolver agressivamente a partir da década de 90. Do ponto de vista acadêmico, os cursos de graduação e mestrado em mecatrônica começaram a ser desenvolvidos também nesse período.

Entretanto, com o passar dos anos, a consolidação desse conceito não foi plena, ou, em outras palavras, não foi exata o suficiente para delimitarmos as fronteiras do que seria de fato Engenharia Mecatrônica. A Figura 3 aponta essa questão mostrando a disseminação de tópicos identificados como mecatrônicos ao longo dos anos.

Figura 3- Mechatronics subject areas derived from a keyword search using *Web of Knowledge* and *IEEE Xplore* for the years 2000 and 2010



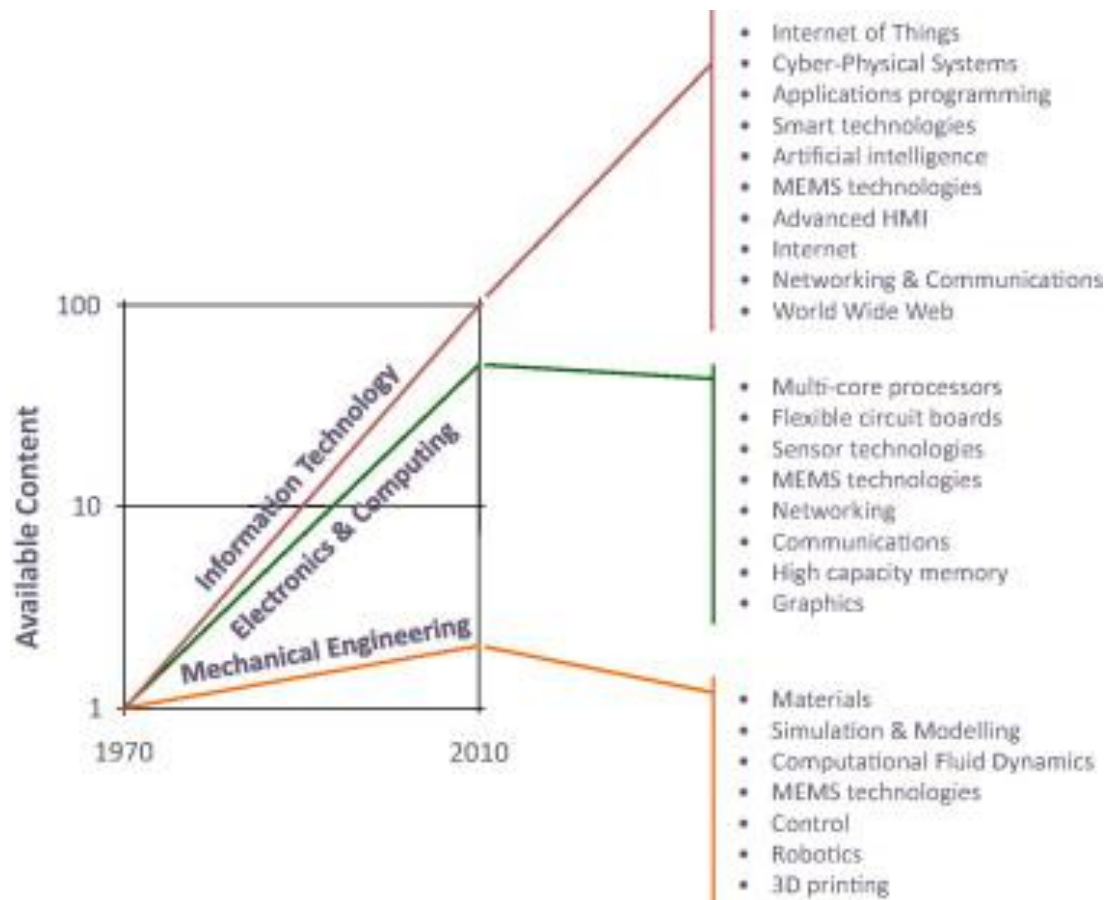
Fonte: Bradley *et al.* (2015)

A grosso modo, um sistema é identificado como um sistema mecatrônico quando nele se encontra presente sensoriamento e atuadores atacando um problema mecânico. Os sensores, responsáveis pela aquisição de informações sobre o produto, sobre o processo e/ou ambiente, encaminham tais informações para um centro de processamento. Tal centro analisa os dados, que usualmente representa grandezas físicas, e encaminha um comando para os atuadores agirem de forma a controlar o sistema. Este processo pode ser visto em: manipuladores robóticos, sistemas autônomos, máquinas industriais, veículos automotores, veículos híbridos, plantas industriais, entre inúmeros outros. Processos e produtos mecatrônicos estão presentes na imensa maioria dos processos/produtos manufaturados da atualidade.

A Engenharia Mecânica, ao passar dos anos, incorporou outras áreas do conhecimento e novas tecnologias e essa incorporação deu origem a Engenharia mecatrônica. Sabendo desse acontecimento, podemos fazer uma extrapolação lógica e indagar a seguinte questão: o processo que ocorreu com a Engenharia Mecânica que culminou na Engenharia Mecatrônica pode ocorrer com a Engenharia Mecatrônica e culminar em outro paradigma tecnológico? A julgar pelo momento atual da indústria e pelo surgimento da Indústria 4.0, tem-se grandes evidências que sim.

Podemos assentar a Engenharia mecatrônica em 3 grandes pilares: mecânica, computação e eletrônica. Contudo, a tecnologia da informação desenvolveu-se de maneira sólida e está sendo incorporada na mecatrônica, assim como ocorreu a incorporação da eletrônica na mecânica. A imagem abaixo mostra a taxa diferencial de desenvolvimento nos principais tópicos mecatrônicos, de tecnologia da informação, eletrônica, computação e engenharia mecânica ao longo dos anos.

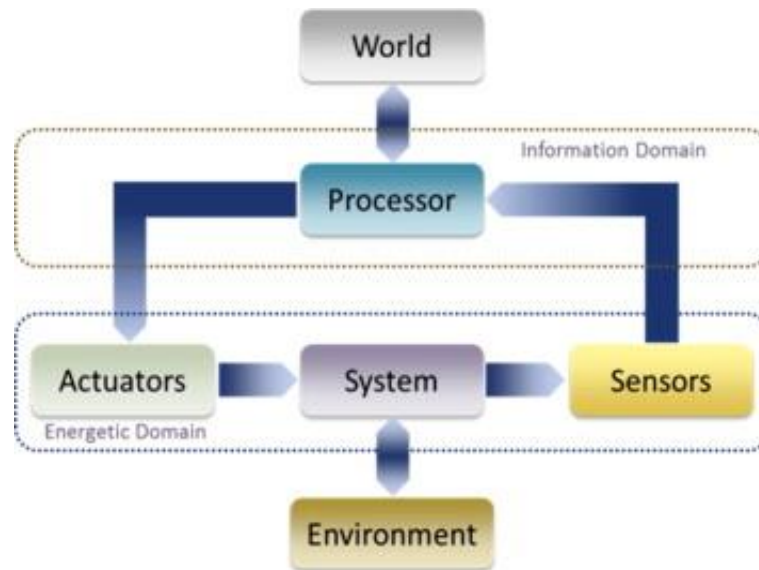
Figura 4- Development and diversification of core mechatronics technologies in the period 1970–2010



Fonte: Bradley *et al.* (2015)

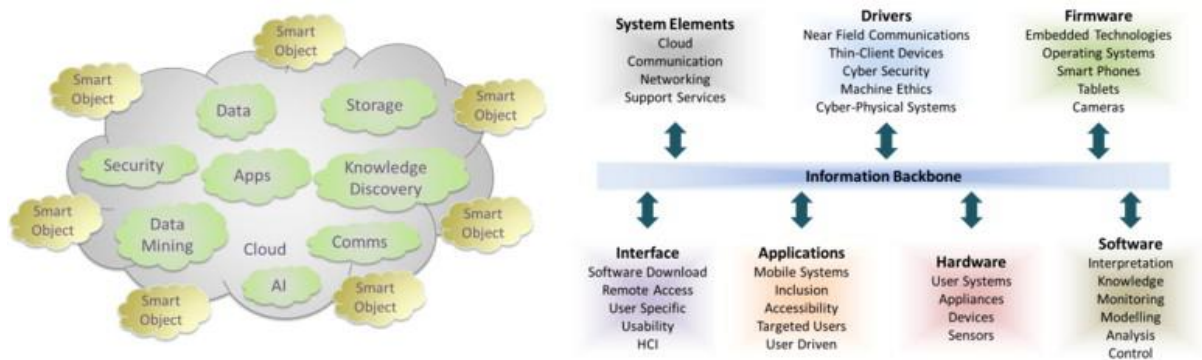
Os últimos anos viram uma mudança de sistemas baseados na interconexão de componentes físicos, nos quais os dados transmitidos são usados para orientar seu controle. A diferença entre um sistema mecatrônico convencional e um sistema mecatrônico com essa característica pode ser observado na Figura 5.

Figura 5- A conceptual model of a conventional mechatronic system.



Fonte: Bradley *et al.* (2015)

Figura 6 - Cloud based systems, or the Internet of Things.

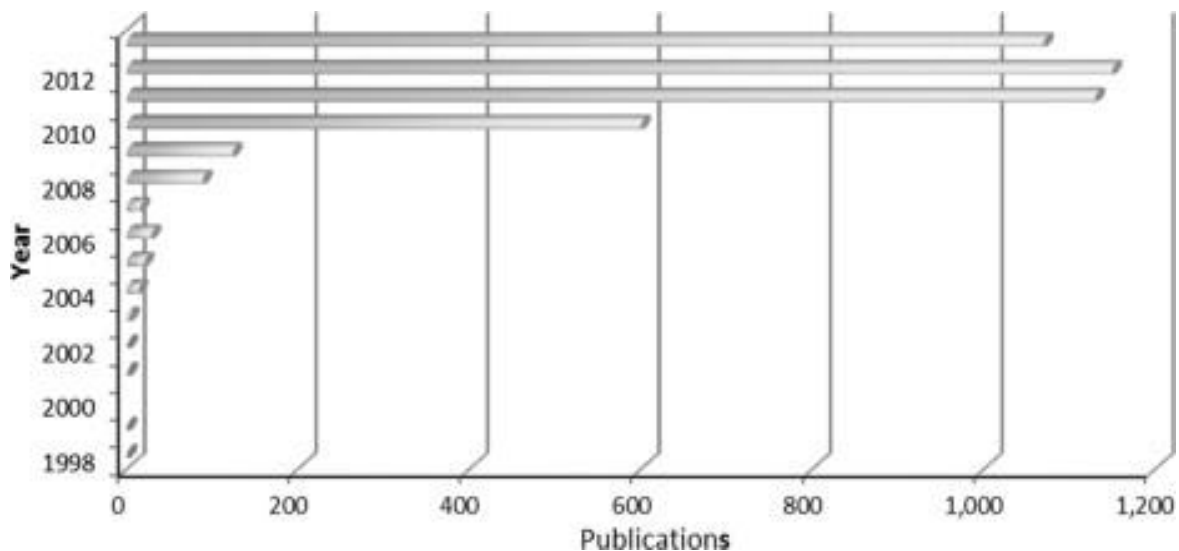


Fonte: Bradley *et al.* (2015)

Informação e dados para o século XXI são mercadorias muitas vezes mais importantes que o *hardware* e o *software* que as carregam. A academia e a indústria não estão alheias a esse contexto.

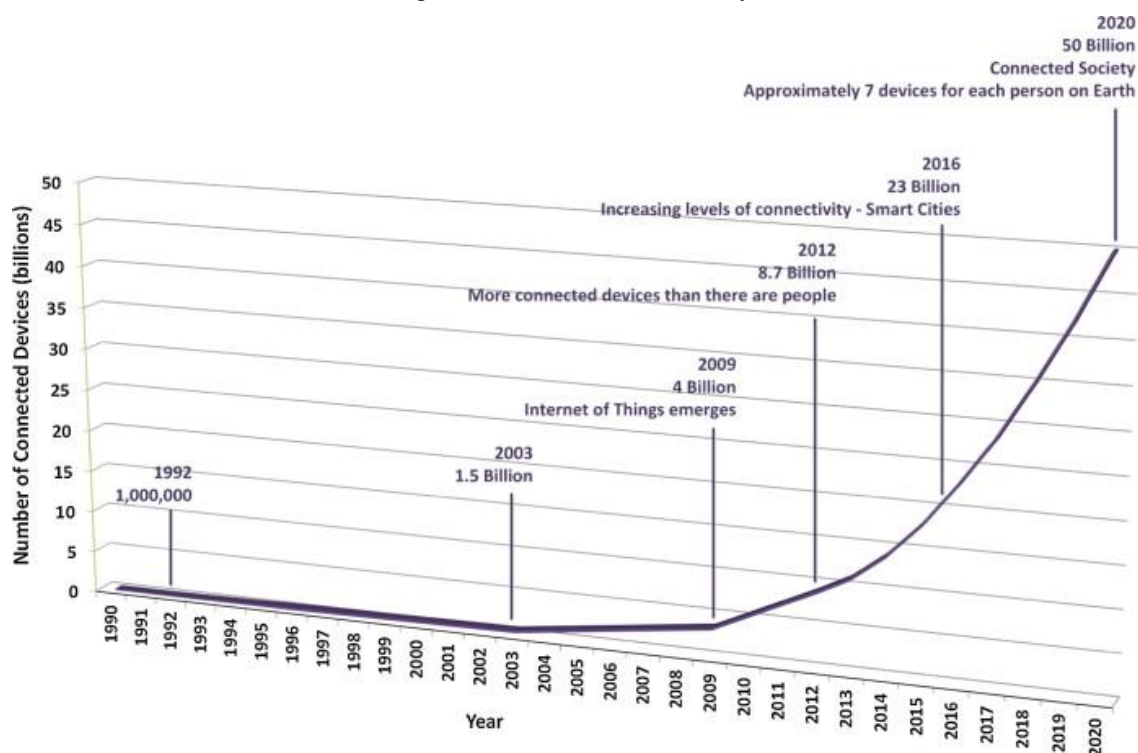
Figura 7 e a Figura 8 mostram o número de artigos cujo termo “*Internet of Things*” aparece no título e o número de dispositivos conectados à internet ao longo dos anos.

Figura 7 - Results of a search on *Google Scholar* for publications using *Internet of Things*



Fonte: Bradley *et al.* (2015)

Figura 8 - Growth in connectivity.



Fonte: Bradley *et al.* (2015)

Os gráficos em questão sugerem que essa mudança de ênfase na forma como os sistemas são projetados e configurados trarão um impacto na maneira como a mecatrônica será vista e considerada do mesmo modo que a eletrônica e a computação impactaram a engenharia mecânica nos anos 80. Assim sendo, mecatrônica e sistema de dados interconectados estão se tornando cada vez mais íntimos.

Figura 9 - Cloud based system configuration



Fonte: Bradley *et al.* (2015)

O desafio dos engenheiros mecatrônicos dos anos 2000 era projetar sistemas em malha fechada que pudessem minimizar falhas ou até mesmo ser a prova delas. A exemplo, os engenheiros eram responsáveis por projetar veículos com sistemas mecatrônicos capazes de facilitar o trabalho do motorista, seja com a implementação de um freio ABS ou com a implementação de uma suspensão que se adequasse ao terreno.

O desafio dos engenheiros mecatrônicos atuais é fazer com que as malhas fechadas conversem entre si. Continuando com o exemplo, não se objetiva somente a facilitação do trabalho dos motoristas, mas a eliminação da necessidade dos próprios. E este desafio somente será possível através da Indústria 4.0.

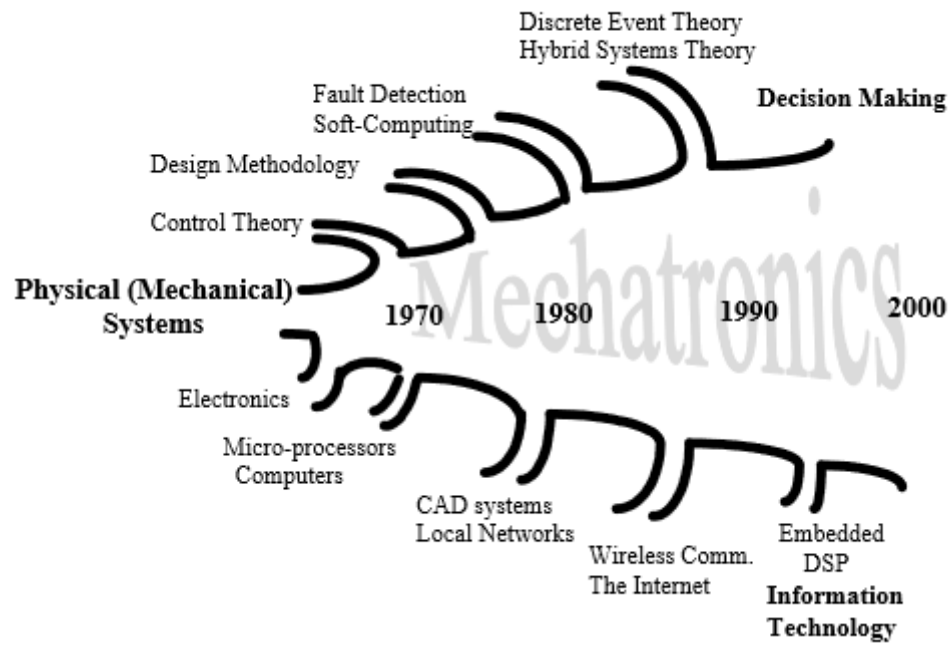
As aplicações da mecatrônica no contexto da Indústria 4.0 podem ser encontradas nas mais diversas áreas.

Quadro 1 - Aplicações da mecatrônica no contexto da Indústria 4.0

| |
|--|
| <i>Automation and robotics</i> |
| <i>Automotive engineering</i> |
| <i>Computer aided & integrated manufacturing systems</i> |
| <i>Computer Numerically Controlled machines</i> |
| <i>Consumer products</i> |
| <i>Control engineering</i> |
| <i>Diagnostic, reliability, and control systems techniques</i> |
| <i>Engineering design</i> |
| <i>Engineering and manufacturing systems</i> |
| <i>Expert systems</i> |
| <i>Games technologies</i> |
| <i>Health technologies and systems</i> |
| <i>Industrial engineering</i> |
| <i>Machine vision</i> |
| <i>Manufacturing technologies</i> |
| <i>Mechatronics systems</i> |
| <i>Medical technologies and systems</i> |
| <i>Packaging technologies</i> |
| <i>Power production & generation</i> |
| <i>Sensing and control systems</i> |
| <i>Servo-mechanisms and control</i> |
| <i>Space technologies</i> |
| <i>Structural dynamics</i> |
| <i>Systems engineering</i> |
| <i>Transportation and vehicular systems</i> |

Em relação à evolução temporal, podemos traçar a seguinte linha, ilustrada na Figura 10.

Figura 10 - Evolution of mechatronics



Fonte: Tomizuka (2002)

3. TRIAGEM DE UNIVERSIDADES

A triagem de universidades seguiu os critérios baseados em rankings internacionais.

3.1 Seleção de rankings internacionais

Os rankings internacionais que se propõem a classificar as universidades do mundo ponderam alguns fatores distintos, porém também ponderam diversos fatores em comum, fatores estes que levam a classificações ora discrepantes ora parecidas entre si.

Os 3 mais relevantes rankings foram levados em consideração para análise: o *Quacquarelli Symonds* (QS), o *Academic Ranking of World Universities* (ARWU) e o *Times Higher Education World University Rankings*.

3.1.1 Quacquarelli Symonds (QS)

A *Quacquarelli Symonds* (QS) é uma empresa britânica. Ela divulgou o ranking *QS World University Rankings by Subject* (2019) e este foi vastamente noticiado pela parte da grande mídia que se interessa por educação. O ranking elenca as melhores universidades do mundo em mais de 40 disciplinas.

Os critérios adotados para a seleção das universidades melhor classificadas em Engenharia e Tecnologia foram:

- Reputação acadêmica
- Citações em artigos
- Índice H em citações
- Reputação dos graduados no mercado

Segundo a QS, as 10 melhores universidades em 2019 em engenharia foram:

- *Harvard University*;
- *Massachusetts Institute of Technology* (MIT);
- *University of Cambridge*;
- *The University of Tokyo*;
- *University of Oxford*;
- *Lomonosov Moscow State University*;

- *Stanford University*;
- *Politecnico di Milano*;
- *National University of Singapore (NUS)*;
- *Bauman Moscow State Technical University*.

3.1.2 Academic Ranking of World Universities (ARWU)

O *Academic Ranking of World Universities*, também conhecido como *Ranking* de Xangai, foi realizado até 2008 pela Universidade Jiao Tong de Xangai e desde então pela *Shanghai Ranking Consultancy*.

Embora o objetivo inicial de ARWU fosse encontrar a posição global das melhores universidades chinesas, tem atraído uma grande quantidade de atenção de universidades, governos e meios de comunicação públicos em todo o mundo. A ARWU tem sido relatada pela grande mídia em quase todos os principais países. Centenas das universidades citaram os resultados do ranking nas suas notícias universitárias, nos relatórios anuais ou folhetos promocionais. Um estudo sobre o ensino superior publicado pelo *The Economist* em 2005, comentou a ARWU como "a classificação anual mais utilizada de universidades de pesquisa do mundo." Burton Bollag, um jornalista no *Chronicle of Higher Education* escreveu que a ARWU "é considerada como a classificação internacional com mais influência". (SHANGHAI RANKING CONSULTANCY, 2015)

O ranking em questão classifica mais de 1200 universidades. Sua fórmula conta com os seguintes critérios e pesos:

- Número de ex-alunos vencedores do Prêmio Nobel e Medalha Fields (10%);
- Membros do corpo docente que obtiveram tais prêmios (20%);
- Pesquisadores altamente citados em 21 categorias gerais (20%);
- Artigos produzidos nas revistas científicas *Nature* e *Science* (20%);
- Science Citation Index e o Social Sciences Citation Index (20%);
- Performance acadêmica per capita nos indicadores anteriormente citados (10%).

Segundo a ARWU, as 10 melhores universidades posicionadas em 2016 na área de engenharia foram:

- *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*;
- *Nanyang Technological University*;
- *Stanford University*;
- *Tsinghua University*;
- *King Abdulaziz University*;

- *National University of Singapore;*
- *The Imperial College of Science, Technology and Medicine;*
- *University of California, Berkeley;*
- *Harbin Institute of Technology;*
- *The University of Texas at Austin.*

3.1.3 Times Higher Education (THE)

O THE se consagra como um dos mais respeitados rankings de avaliação de universidades do mundo. O *Times Higher Education* possui dois sistemas de avaliações interessantes: o *University Impact Ranking* e o *World University Rankings*. O primeiro rankings possui uma avaliação voltada para questões que envolvem sustentabilidade, envolvimento com a comunidade e até mesmo igualdade de gênero. É um rankings holístico e contempla as metas do milênio.

Para o estudo em questão, consideraremos o *World University Rankings*, uma vez que este é mais tradicional e abarca os seguintes critérios de avaliação:

- Ensino (o ambiente de aprendizagem);
- Pesquisa (volume, renda e reputação);
- Citações (influência da pesquisa);
- Perspectiva internacional (pessoal, dos estudantes e de pesquisa);
- Renda da indústria (transferência de conhecimento).

Segundo o THE, as 10 melhores universidades posicionadas em 2019 na área de engenharia foram:

- *University of Oxford;*
- *Stanford University;*
- *Massachusetts Institute of Technology;*
- *California Institute of Technology;*
- *Harvard University;*
- *Princeton University;*
- *Yale University;*
- *Imperial College London;*
- *ETH Zurich;*
- *Johns Hopkins University.*

3.2 Seleção das universidades

Para o estudo que esse artigo se propõem, a seleção das universidades que serão analisadas deve seguir critérios que estejam ligados ao diagnóstico da mecatrônica tanto do ponto de vista da academia, como do ponto de vista mercadológico. É bem verdade que existem critérios igualmente importantes, como o critério da sustentabilidade. Porém, os critérios que fujam do estudo proposto não serão considerados.

Os parâmetros de análise serão:

- Reputação acadêmica;
- Citações em artigos;
- Índice H em citações;
- Reputação dos graduados no mercado;
- Membros do corpo docente premiados;
- Ensino;
- Pesquisa;
- Projeção internacional;
- Contato com a indústria.

Os fatores escolhidos estão em harmonia com os rankings escolhidos. Contudo, a escolha das universidades não se dará única e exclusivamente pelo posicionamento das instituições nos rankings. Como o estudo se propõem a traçar um diagnóstico da mecatrônica ao longo do mundo, os fatores geográficos também serão considerados. Além do fator geográfico e do posicionamento do ranking em engenharia, a facilidade de obtenção de informações será igualmente considerada.

Uma questão que deve ser levada em conta é a classificação da área de interesse. Em muitas Universidades não existe a divisão que ocorre no Brasil entre Engenharia Mecatrônica e Engenharia Mecânica, ora a mecânica é própria mecatrônica, ora a mecatrônica é um braço da mecânica. Assim, o critério usado no ranking será o de colocação da Universidade na área de Engenharia Mecânica, salvo algumas observações relevantes mostradas ao final.

As Universidades escolhidas e suas respectivas classificações são indicadas nas Tabela 1 a 4.

Tabela 1 - Seleção das Universidades investigadas - QS

| Universidade | Localização | QS: Mecânica - 2019 |
|---|----------------|---------------------|
| <i>California Institute of Technology (Caltech)</i> | Estados Unidos | 17° |
| <i>Delft University of Technology</i> | Holanda | 4° |
| <i>ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology</i> | Suiça | 13° |
| <i>Georgia Institute of Technology</i> | Estados Unidos | 12° |
| <i>Harvard University</i> | Estados Unidos | 5° |
| <i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i> | Estados Unidos | 1° |
| <i>The University of Hong Kong</i> | China | 40° |
| <i>RWTH Aachen University</i> | Alemanha | 19° |
| <i>National University of Singapore</i> | Cingapura | 15° |

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 2 - Seleção das Universidades investigadas – ARWU, Mecânica

| Universidade | Localização | ARWU: Mecânica - 2019 |
|---|----------------|-----------------------|
| <i>California Institute of Technology (Caltech)</i> | Estados Unidos | 10° |
| <i>Delft University of Technology</i> | Holanda | 34° |
| <i>ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology</i> | Suiça | 46° |
| <i>Georgia Institute of Technology</i> | Estados Unidos | 24° |
| <i>Harvard University</i> | Estados Unidos | 11° |
| <i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i> | Estados Unidos | 6° |
| <i>The University of Hong Kong</i> | China | 187° |
| <i>RWTH Aachen University</i> | Alemanha | 44° |
| <i>National University of Singapore</i> | Cingapura | 42° |

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 3 - Seleção das Universidades investigadas - THE

| Universidade | Localização | THE: Mecânica - 2019 |
|---|----------------|----------------------|
| <i>California Institute of Technology (Caltech)</i> | Estados Unidos | 5° |
| <i>Delft University of Technology</i> | Holanda | 58° |
| <i>ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology</i> | Suiça | 11° |
| <i>Georgia Institute of Technology</i> | Estados Unidos | 34 |
| <i>Harvard University</i> | Estados Unidos | 6° |
| <i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i> | Estados Unidos | 4° |
| <i>The University of Hong Kong</i> | China | 36° |
| <i>RWTH Aachen University</i> | Alemanha | 27° |
| <i>National University of Singapore</i> | Cingapura | 8° |

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 4 - Seleção das Universidades investigadas – ARWU, Controle e Automação

| Obs: | ARWU: Controle e Automação - 2019 |
|---|--|
| <i>Delft University of Technology</i> | 54° |
| <i>Zurich-Swiss Federal Institute of Technology</i> | 3° |
| <i>Georgia Institute of Technology</i> | 42° |
| <i>Harvard University</i> | 9° |
| <i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i> | 2° |
| <i>The University of Hong Kong</i> | 27° |
| <i>RWTH Aachen University</i> | 178° |
| <i>National University of Singapore</i> | 29° |

Fonte: elaborado pelo autor

4. ENGENHARIA MECATRÔNICA – EESC

O bacharelado em Engenharia Mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos está entre os cursos mais conceituados da área no Brasil. Em particular, para o cenário brasileiro, existe uma imprecisão por parte de algumas classificações que confundem Engenharia Mecatrônica e Engenharia de Controle e Automação. Como podemos observar no Quadro 2 e Tabela 5, a grade do curso de Engenharia Mecatrônica da EESC, no presente momento (27/06/2019), é composta majoritariamente por disciplinas de Engenharia Mecânica.

Quadro 2 - Grade horária do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos

| Macro área | Classificação | Disciplina |
|------------|------------------------|---|
| FÍSICA | Base - Engenharia | Física I |
| FÍSICA | Base - Engenharia | Laboratório de Física Geral I |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Introdução à Engenharia Mecatrônica |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Desenho Técnico Mecânico I |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Geometria Analítica |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Cálculo I |
| QUÍMICA | Base - Engenharia | Química Geral e Experimental |
| COMPUTAÇÃO | Base - Engenharia | Introdução à Programação para Engenharias |
| FÍSICA | Base - Engenharia | Física II |
| FÍSICA | Base - Engenharia | Laboratório de Física Geral II |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Estática Aplicada às Máquinas |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Problemas de Engenharia Mecatrônica I |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Desenho Técnico Mecânico II |
| COMPUTAÇÃO | Base - Engenharia | Tópicos em Computação |
| COMPUTAÇÃO | Base - Engenharia | Práticas de Tópicos em Computação |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Álgebra Linear |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Cálculo II |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Dinâmica Aplicada às Máquinas |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Problemas de Engenharia Mecatrônica II |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Mecânica dos Sólidos I |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Cálculo III |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Cálculo Numérico |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Equações Diferenciais Ordinárias |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Engenharia e Ciência dos Materiais I |
| HUMANAS | Base - Engenharia | Humanidades e Ciências Sociais |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Eletricidade e Magnetismo |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Mecanismos |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Problemas de Engenharia Mecatrônica III |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Mecânica dos Sólidos II |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Cálculo IV |
| MATEMÁTICA | Base - Engenharia | Estatística I |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Engenharia e Ciência dos Materiais II |

| | | |
|------------|------------------------|---|
| ENGENHARIA | Engenharia Elétrica | Princípios de Eletrônica |
| ENGENHARIA | Engenharia Elétrica | Introdução aos Sistemas Digitais I |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Termodinâmica I |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Princípios de Metrologia Industrial |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Problemas de Engenharia Mecatrônica IV |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos I |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas |
| ENGENHARIA | Engenharia Elétrica | Introdução à Organização de Computadores |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Vibrações Mecânicas |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Fundamentos da Mecânica dos Fluidos |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos II |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Sistemas de Controle I |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Problemas de Engenharia Mecatrônica V |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Processos de Fabricação |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Práticas em Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos |
| ENGENHARIA | Engenharia Elétrica | Aplicação de Microprocessadores I |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Elettricidade II |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Sistemas de Controle II |
| ENGENHARIA | Engenharia Elétrica | Instrumentação e Sistemas de Medidas |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Projeto de Sistemas Mecatrônicos I |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Transferência de Calor e Massa |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Gestão Ambiental para Engenheiros |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Dinâmica e Controle de Sistemas Robóticos I |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Interfaces Eletromecânicas |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Elementos de Automação |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecatrônica | Projeto de Sistemas Mecatrônicos II |
| ENGENHARIA | Engenharia Mecânica | Sistemas Térmicos e Fluídicos |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Gestão e Organização |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Princípios de Economia |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Estágio Supervisionado |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Trabalho de Conclusão de Curso I |
| ENGENHARIA | Engenharia Elétrica | Sistemas Embarcados |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Trabalho de Conclusão de Curso II |
| ENGENHARIA | Base - Engenharia | Gerenciamento de Projetos |

Fonte: elaborado pelo autor

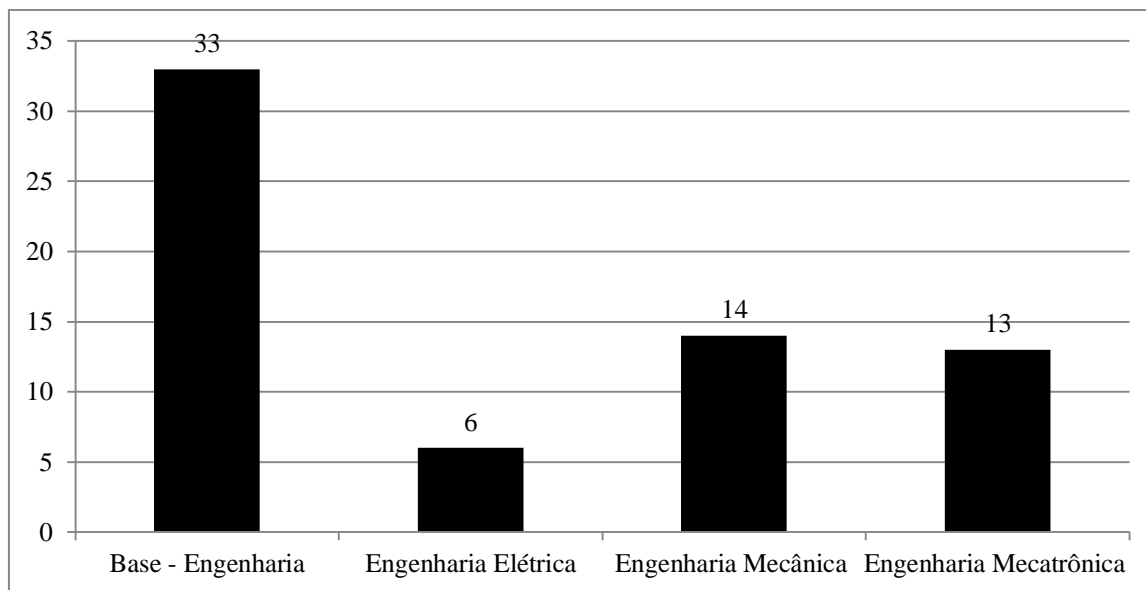
Tabela 5 - Contagem de áreas da grade do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos

| Base – Engenharia | Engenharia Elétrica | Engenharia Mecânica | Engenharia Mecatrônica |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| 33 | 6 | 14 | 13 |

Fonte: elaborado pelo autor

Para respaldar o argumento anterior, podemos analisar os dados obtidos através do gráfico na Figura 11.

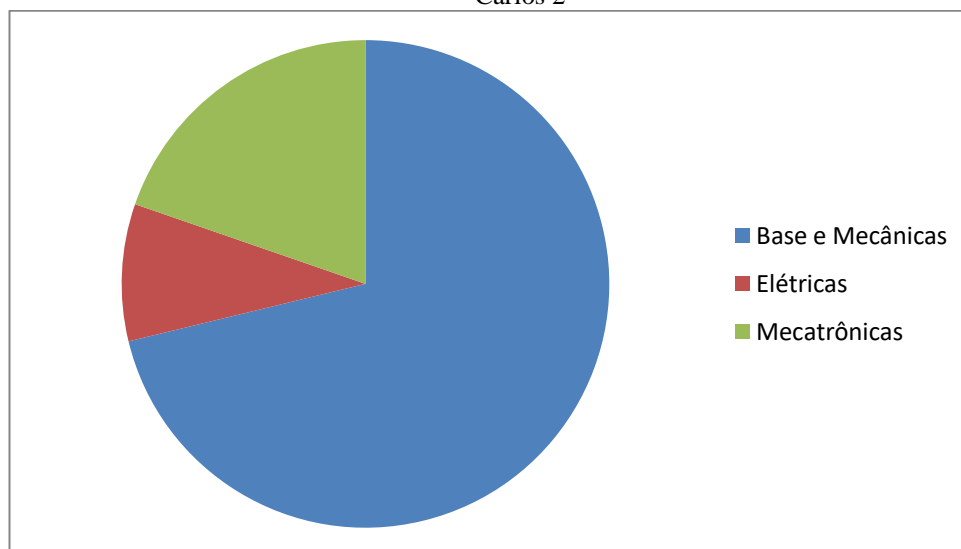
Figura 11 - Gráfico de contagem de áreas do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos



Fonte: elaborado pelo autor

Observamos através do gráfico que as disciplinas da grade do curso de mecatrônica voltadas para a mecânica são a maioria. No que tange à classificação, as disciplinas de base contemplam as ferramentas matemáticas, conhecimentos físicos e conhecimentos computacionais necessários para engenheiros em geral. As matérias classificadas em Engenharia Mecatrônica também podem apresentar bases mecânicas, mas também carregam em si certa interseção de áreas. Para uma análise mais clara, o gráfico na Figura 12 pode expressar essa questão.

Figura 12 - Gráfico de contagem de áreas do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos 2



Fonte: elaborado pelo autor

Podemos perceber a proximidade do curso com a área de mecânica e, portanto, a atuação primária do engenheiro mecatrônico formado na EESC. Para evidenciarmos essa questão, nos atentemos ao seguinte dado: no presente momento (primeiro semestre de 2019) 70% das disciplinas do bacharelado em engenharia mecatrônica da EESC estão presentes no curso de engenharia mecânica.

4.1 Macro Áreas e interseção – compilação de dados

Devido à natureza interdisciplinar da mecatrônica, a interseção com outras áreas e, consequentemente, outros cursos é inevitável. O campus da Escola de Engenharia de São Carlos dispõem de 3 cursos que possuem grande atuação nas áreas de controle e sensoramento: Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Engenharia de Computação e Engenharia Mecatrônica. Esse é um dos motivos de certo desentendimento das atuações dos profissionais.

O artigo abordará a atuação desses 3 cursos com suas especificações em 4 grandes campos: Computacional, Controle (não somente mecânico), Eletrônico e Mecânico. As disciplinas de base que compõem todas as engenharias, como as ferramentas matemáticas, serão desconsideradas da análise. O foco em questão é a investigação dos conhecimentos transmitidos por esses cursos e suas diferenças. Outra observação é a de que somente as disciplinas mandatórias dos cursos serão analisadas, visto que as possibilidades das disciplinas optativas extrapolam as áreas principais de cada curso.

4.1.1 Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação

A grade do curso foi tabelada e classificada quanto às 4 áreas de análise ditas anteriormente, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Grade horária do curso de Engenharia Elétrica Automação da Escola de Engenharia de São Carlos

| Disciplinas |
|--|
| Física I |
| Laboratório de Física Geral I |
| Humanidades e Ciências Sociais |
| Desenho Técnico - E A |
| Introdução à Programação para Engenharias |
| Introdução à Engenharia Elétrica |
| Geometria Analítica |
| Cálculo I |
| Física II |
| Laboratório de Física Geral II |
| Projetos em Engenharia Elétrica |
| Medidas e Circuitos Elétricos |
| Introdução à Isostática |
| Álgebra Linear |
| Cálculo II |
| Química Geral e Experimental |
| Circuitos Elétricos I |
| Sistemas Digitais |
| Laboratório de Medidas e Circuitos Elétricos |
| Cálculo III |
| Cálculo IV |
| Estatística I |
| Equações Diferenciais Ordinárias |
| Circuitos Elétricos II |
| Eletromagnetismo |
| Sinais e Sistemas em Engenharia Elétrica |
| Laboratório de Sistemas Digitais I |
| Introdução à Organização de Computadores |
| Semicondutores |
| Fenômenos de Transporte |
| Cálculo Numérico |
| Ondas Eletromagnéticas |
| Circuitos Eletrônicos I |
| Laboratório de Fundamentos de Controle |
| Processamento Digital de Sinais |
| Linhas de Transmissão de Energia Elétrica |
| Automação |
| Fundamentos de Controle |
| Laboratório de Automação |
| Aplicação de Microprocessadores I |
| Circuitos Eletrônicos II |
| Conversão Eletromecânica de Energia |
| Análise Estática de Sistemas de Energia Elétrica |
| Geração de Energia Elétrica |
| Laboratório de Circuitos Eletrônicos (ea) |
| Instalações Elétricas |
| Laboratório de Conversão Eletromecânica de Energia |
| Cálculo de Curto Circuito |
| Eletrônica de Potência |
| Distribuição de Energia Elétrica |

| |
|---|
| Máquinas Elétricas |
| Sistema de Gestão Ambiental |
| Projeto Integrador em Máquinas Elétricas e Eletrônica de Potência |
| Projeto de Formatura I |
| Fundamentos Termodinâmicos |
| Gerenciamento de Projetos |
| Projeto de Formatura II |
| Gestão e Organização |
| Princípios de Economia |
| Estágio Supervisionado |

Fonte: elaborado pelo autor

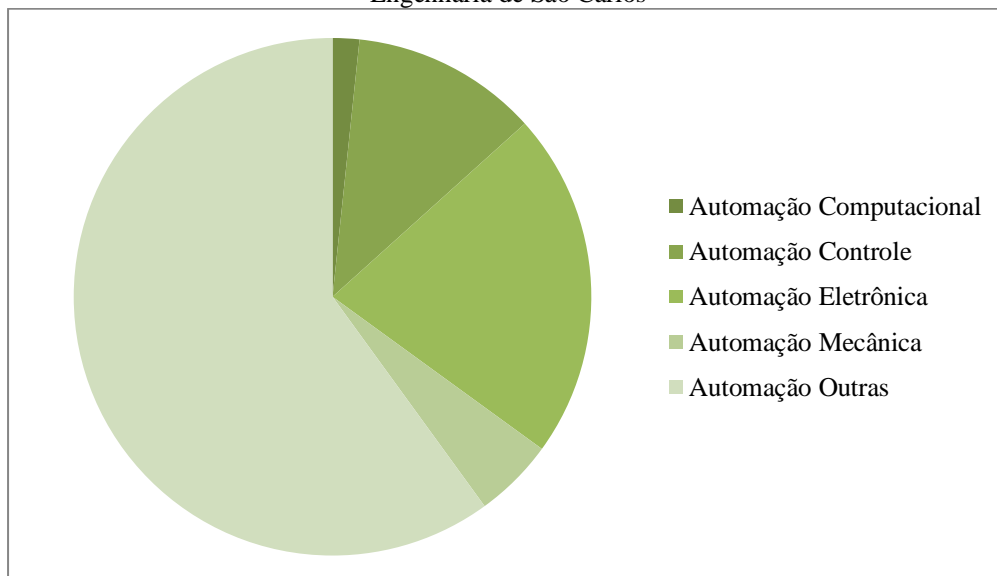
A Tabela 6 apresenta a contagem dos dados.

Tabela 6 - Contagem de áreas de interesse da grade do curso de Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos

| Rótulos de Linha | Soma de Peso - Somente Mandatórias |
|------------------|------------------------------------|
| Automação | 24 |
| Computacional | 1 |
| Controle | 7 |
| Eletrônica | 13 |
| Mecânica | 3 |

Gráfico do volume de disciplinas em cada classificação é apresentado na Figura 13.

Figura 13 Gráfico de contagem de áreas de interesse do curso de Engenharia Elétrica Automação da Escola de Engenharia de São Carlos



Fonte: elaborado pelo autor

4.1.2 Engenharia de Computação

De modo similar, a grade do curso foi tabelada e classificada quanto às 4 áreas de análise ditas anteriormente. Os resultados obtidos são apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Grade horária do curso de Engenharia de Computação da Escola de Engenharia de São Carlos

| Disciplinas |
|--|
| Física I |
| Laboratório de Física Geral I |
| Humanidades e Ciências Sociais |
| Desenho |
| Informação Profissional em Engenharia de Computação I |
| Geometria Analítica |
| Cálculo I |
| Introdução à Ciência de Computação I |
| Laboratório de Introdução à Ciência de Computação I |
| Informação Profissional em Engenharia de Computação II |
| Física II |
| Laboratório de Física Geral II |
| Mecânica dos Sólidos |
| Álgebra Linear |
| Cálculo II |
| Química Geral e Experimental |
| Estrutura de Dados I |
| Estrutura de Dados II |
| Laboratório de Medidas e Circuitos Elétricos |
| Circuitos Elétricos |
| Sistemas Digitais |
| Fenômenos de Transporte |
| Cálculo III |
| Equações Diferenciais Ordinárias |
| Cálculo Numérico |
| Programação Orientada a Objetos |
| Estrutura de Dados III |
| Sinais e Sistemas |
| Laboratório de Sistemas Digitais |
| Fundamentos de Semicondutores |
| Eletromagnetismo |
| Cálculo IV |
| Organização e Arquitetura de Computadores |
| Circuitos Eletrônicos I |
| Fundamentos de Controle |
| Ondas Eletromagnéticas |
| Processamento Digital de Sinais |
| Programação Matemática |
| Estatística I |
| Sistemas Operacionais I |

| |
|--|
| Bases de Dados |
| Laboratório de Circuitos Eletrônicos |
| Circuitos Eletrônicos II |
| Microprocessadores e Aplicações |
| Administração e Empreendedorismo |
| Princípios de Economia |
| Modelagem Orientada a Objetos |
| Redes de Computadores |
| Sistemas Computacionais Distribuídos |
| Teoria da Computação e Compiladores |
| Inteligência Artificial |
| Princípios de Comunicação |
| Fundamentos de Microeletrônica |
| Projetos de Circuitos Integrados Analógicos |
| Gestão Ambiental para Engenheiros |
| Engenharia de Software |
| Computação de Alto Desempenho |
| Comunicação Digital |
| Controle Digital |
| Projetos de Circuitos Integrados Digitais I |
| Projetos de Circuitos Integrados Digitais II |
| Serviços de Telecomunicações e Redes Faixa Larga |
| Estágio Supervisionado |
| Projeto de Formatura I |

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 7 apresenta a contagem dos dados.

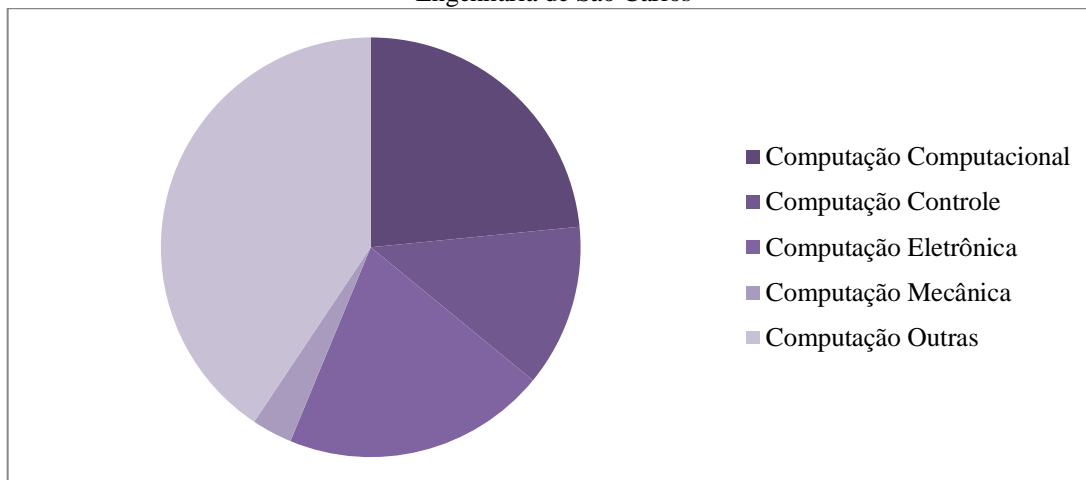
Tabela 7 - Contagem de áreas de interesse da grade do curso de Engenharia de Computação mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos

| | |
|-------------------|-----------|
| Computação | 53 |
| Computacional | 26 |
| Controle | 12 |
| Eletrônica | 13 |
| Mecânica | 2 |

Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 14 apresenta o Gráfico do volume de disciplinas em cada classificação.

Figura 14 - Gráfico de contagem de áreas de interesse do curso Engenharia de Computação Escola de Engenharia de São Carlos



Fonte: elaborado pelo autor

4.1.3 Engenharia Mecatrônica

A grade do curso de Engenharia mecatrônica da EESC já foi tabelada anteriormente, cabe agora a sua classificação quanto às 4 áreas de interesse, conforme Tabela 8.

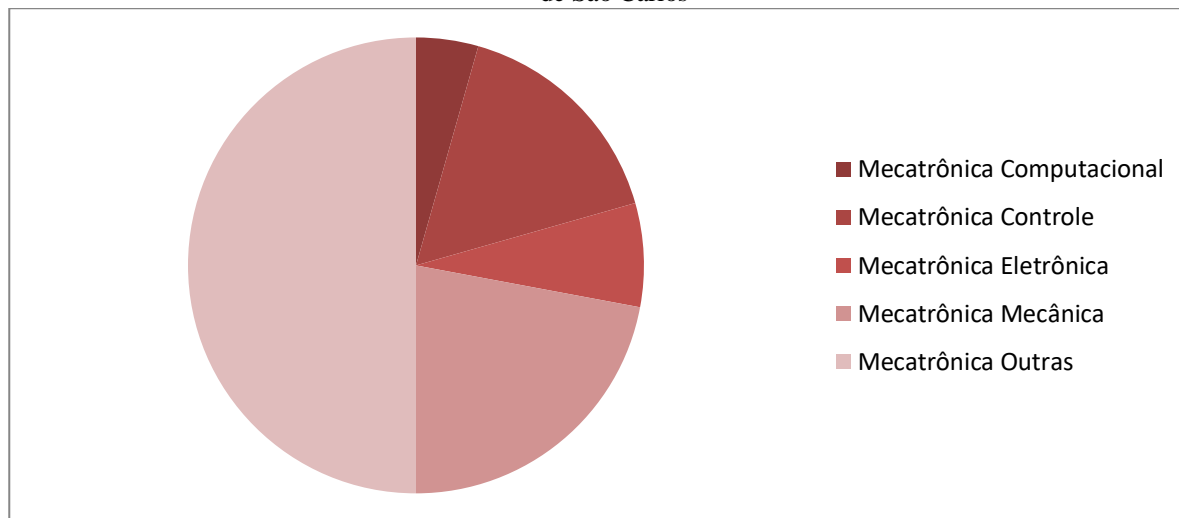
Tabela 8 - Contagem de áreas de interesse da grade do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos

| | |
|--------------------|-----------|
| Mecatrônica | 46 |
| Computacional | 9 |
| Controle | 12 |
| Eletrônica | 7 |
| Mecânica | 18 |

Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 15 apresenta o gráfico do volume de matérias em cada classificação.

Figura 15 - Gráfico de contagem de áreas de interesse do curso Engenharia Mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos

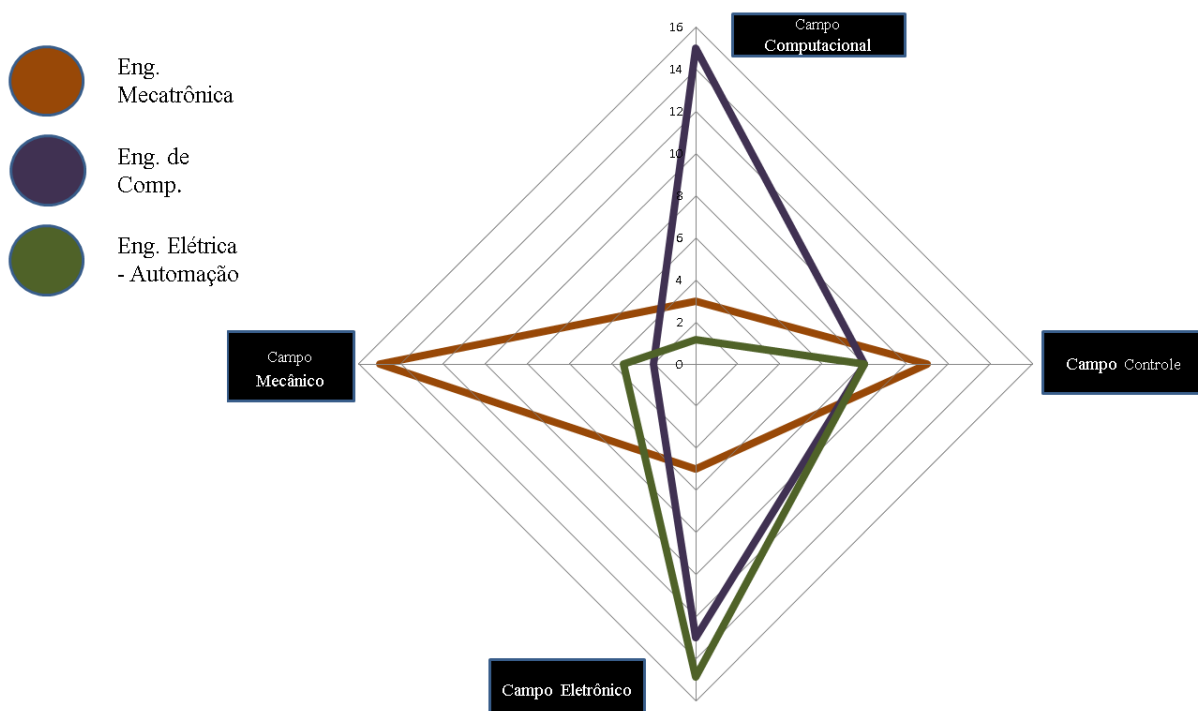


Fonte: elaborado pelo autor

4.2 Macro Áreas e interseção – Análise Gráfica

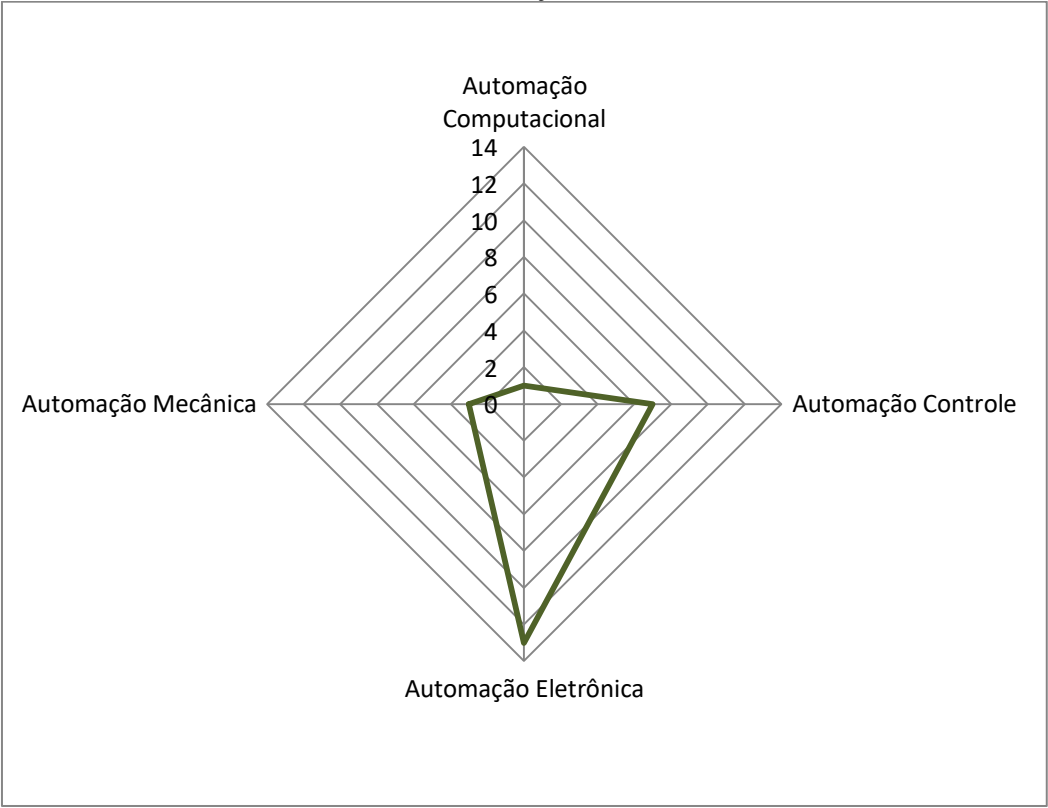
De posse desses dados, podemos utilizar de análises gráficas para entender visualmente a diferença dos 3 cursos de maneira objetiva, conforme ilustrado nas Figura 16 a Figura 19.

Figura 16 - Gráfico de interseção de campos de atuação dos engenheiros formados nos cursos analisados



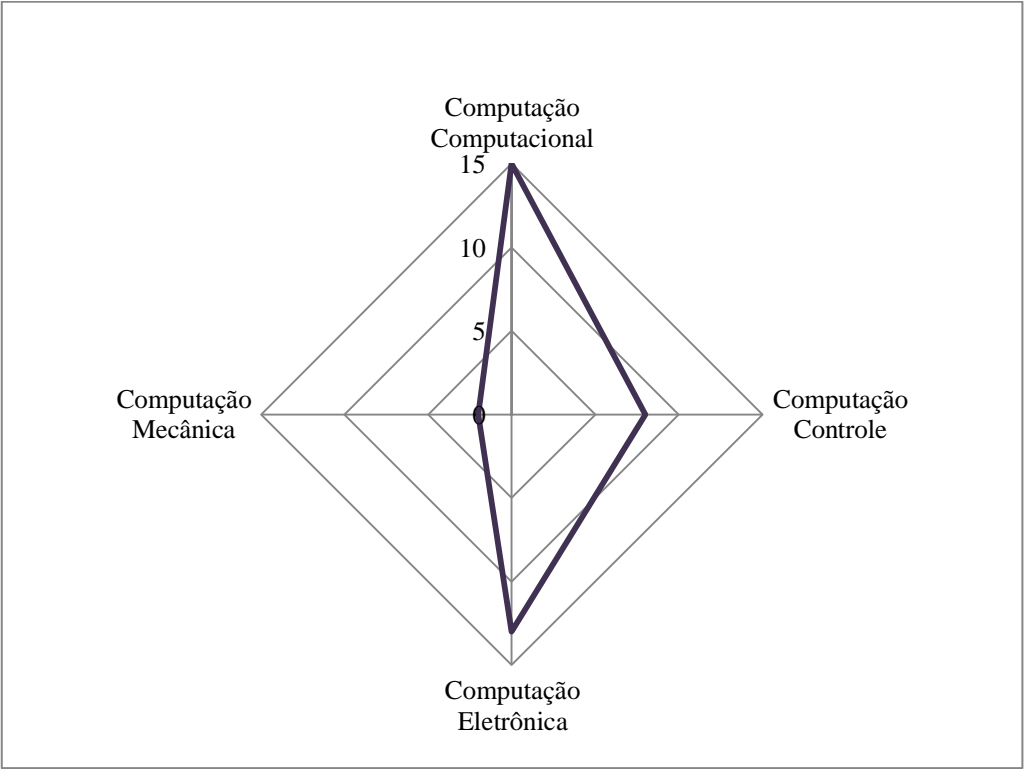
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 - Gráfico dos campos de atuação do curso de Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Energia e Automação



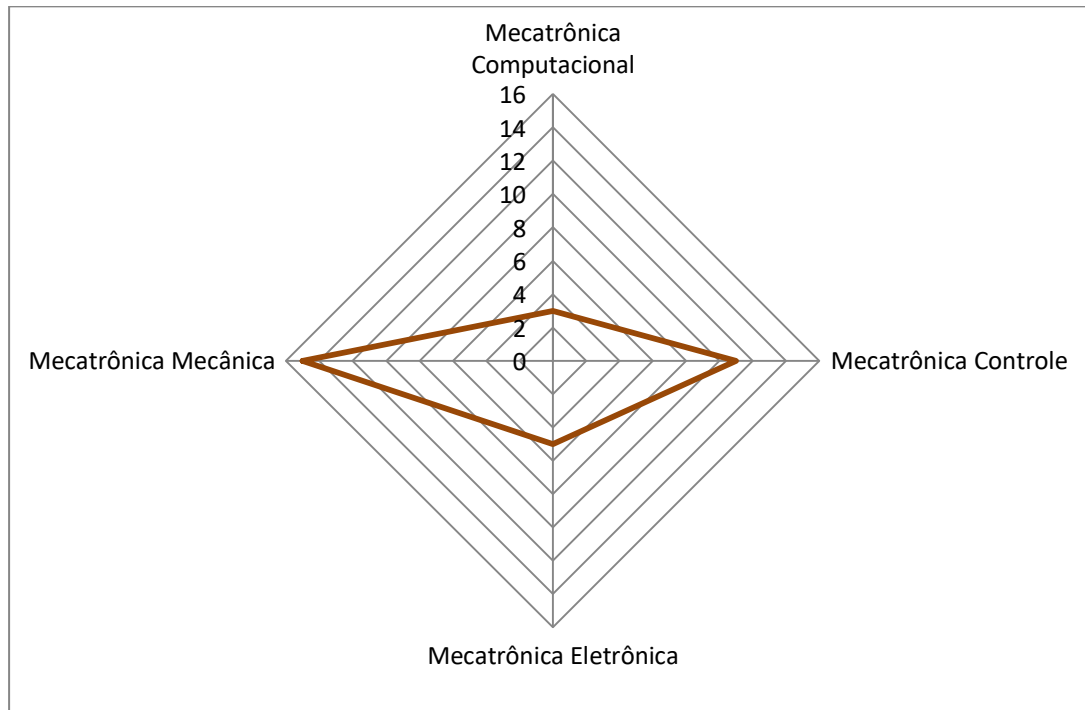
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18 - Gráfico dos campos de atuação do curso de Engenharia de computação



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 19 - Gráfico dos campos de atuação do curso de Engenharia Mecatrônica



Fonte: elaborado pelo autor

Os gráficos não só deixam evidente as áreas de interesse dos 3 cursos, como também as nuances que os individualizam. Obviamente as análises feitas com as disciplinas em questão não limitam a atuação dos profissionais, além do que, existe um peso considerável de disciplinas que não pertencem aos 4 campos investigados. Porém, a individualidade dos cursos foi demonstrada.

5. ENGENHARIA MECATRÔNICA NO MUNDO

Para a análise da Engenharia Mecatrônica no mundo, 3 continentes foram discriminados: Europa, Ásia e América do Norte.

5.1 Europa

Até o final do século XX, o sistema educacional europeu era difuso e individualizado conforme os países definiam as titulações dos estudantes. Essas características dificultavam a internacionalização acadêmica e o intercâmbio profissional europeu. A estrutura de um mestrado alemão era diferente da estrutura de um mestrado francês ou de um mestrado inglês, por exemplo. A contramão dos tratados internacionais que tendiam a aumentar a cooperação europeia, as universidades não formalizaram nenhum acordo.

Este problema foi resolvido em 1999 com a Declaração de Bolonha.

O Processo de Bolonha é uma cooperação intergovernamental de 48 países europeus no campo do ensino superior. Ele orienta o esforço coletivo de autoridades públicas, universidades, professores e estudantes, juntamente com associações de interessados, empregadores, agências de garantia de qualidade, organizações internacionais e instituições, incluindo a Comissão Europeia, sobre como melhorar a internacionalização do ensino superior. (EUROPEAN COMMISSION, 2019)

O Processo de Bolonha normaliza o ensino superior europeu facilitando, assim, não somente o intercâmbio entre os estudantes, mas também o reconhecimento de títulos, atuação profissional e possibilidades de pesquisa. Segundo o acordo, de maneira geral, o ensino superior deve seguir a seguinte ordenação: 3 anos de graduação, 2 anos de mestrado e 3 anos de doutorado. Eventualmente esses valores podem se tornar um pouco mais elásticos a medida que alguns cursos necessitem de mais anos, mas, em geral, a estrutura é seguida.

Os 3 países das universidades escolhidas para análise fazem parte do tratado de Bolonha, portanto seguem o sistema descrito, ou seja:

- Uma graduação mais curta com cerca de 3 anos de bacharelado, onde o aluno cursa matérias basais e comuns a vários cursos de engenharia. Nesse período, observa-se matérias essenciais a engenheiros mecânicos e mecatrônicos
- Um mestrado com duração de 2 anos, onde na maioria das vezes a engenharia mecânica plena se concentra em mecatrônica
- Um doutorado, com duração média de 3 anos, onde o aluno se concentra em um projeto de pesquisa.

A engenharia mecatrônica vista nas universidades analisadas se mostra como um extrapolar da engenharia mecânica, onde as disciplinas convencionais de controle avançado são vistas no mestrado. Não foi observado um bacharelado em engenharia mecatrônica.

5.2 América do Norte

As universidades norte-americanas analisadas apresentaram um padrão de estrutura de curso similar, o sistema *Major – Minor – Concentration*. Para o melhor entendimento da presença da engenharia mecatrônica nessas escolas, precede-se o entendimento desse sistema de graduação oferecido.

O que as universidades brasileiras ofertam como um curso de graduação, ou bacharelado em engenharia, as universidades norte-americanas entendem como *Majors* em engenharia. O *Minor* pode ser entendido como uma graduação menor, ou, em paralelo às universidades brasileiras, uma possível ênfase do curso escolhido. Mas cabe uma ressalva: o *Minor* não necessita estar vinculado ao *Major*. A título de exemplo: um *Major* em engenharia civil pode vir acompanhado de um *Minor* em computação.

Já a *Concentration*, diz respeito a um conjunto de disciplinas direcionadas a um macro tópico, uma espécie de *Minor* com um número menor de disciplinas. A escolha do *Major* por parte do estudante muitas vezes não acontece no início dos seus estudos, ao ingresso na instituição, mas após a conclusão de um certo número de disciplinas de base.

As 4 universidades examinadas apresentam a mecatrônica como um extrapolar da engenharia mecânica. Não se observou uma *Major* em engenharia mecatrônica, mas *Minors* e *Concentrations* em áreas que as universidades brasileiras entendem como mecatrônica: robótica, automação, controle, computação e áreas de intersecção como eletromecânica.

A Escola de Engenharia de São Carlos, segundo os parâmetros norte-americanos das universidades observadas, oferta um curso de engenharia mecânica, e não de mecatrônica. Como já foi discutido na introdução, a relação da eletrônica e computação com a engenharia mecânica se tornou tão intrincada que sua separação se torna inviável para a indústria contemporânea.

Uma questão que deve ser discutida, diz respeito ao número de disciplinas ministradas nesses cursos. A diferença no tamanho da grade das universidades norte-americanas para as universidades brasileiras em relação aos *Majors* e bacharelados é notória. Exemplificando, a EESC possui algo em torno de 70 disciplinas na grade do curso de engenharia mecatrônica,

enquanto o Instituto de Tecnologia da Geórgia possui 45 disciplinas. Essa diferença se deve ao fato dos alunos possuírem a liberdade de montar sua grade conforme as áreas de interesse. Os departamentos ofertam as disciplinas de modo muito mais livre e plural. Os alunos são orientados a buscar mais conhecimento fora da sala de aula e a aprenderem os melhores métodos de absorção desses conhecimentos.

Do ponto de vista da pesquisa, a presença de áreas de interseção é incentivada, como exemplo áreas que envolvem biologia. As áreas de pesquisa referentes à “Indústria 4.0”, embora difusas, foram identificadas, o que aponta para a hipótese inicial da tendência da engenharia mecatrônica.

Os alunos em geral possuem mais disciplinas de humanas ou que fogem do escopo de disciplinas técnicas. Ilustrando esse fato, o MIT exige que seus estudantes passem em uma prova de natação para conseguirem seus diplomas.

5.3 Ásia

As duas universidades analisadas foram escolhidas por sua forte presença no continente asiático. Ambas as universidades são bem classificadas nos rankings escolhidos. Um ponto a ser destacado é a forte internacionalização das instituições. Os estudantes são vastamente expostos a oportunidades de pesquisa e intercâmbio.

As escolas investigadas não oferecem uma graduação em engenharia mecatrônica. O contato com a mecatrônica é tratado em *minors* e concentrações, o que lembra em certa medida o sistema de graduação norte-americano.

A grade horária observada mostra uma generalização de áreas abordadas, possibilitando ao estudante uma ampla gama de possibilidades de especialização. Outro item a ser destacado é a presença de disciplinas comuns a todos os cursos, disciplinas de caráter distinto de atribuições comuns a engenheiros, como cultura nacional ou estudos de sociologia. Este fato demonstra uma preocupação por parte da instituição na formação de um engenheiro não somente técnico, mas humano e sensível a questões sociais e/ou políticas.

A engenharia mecatrônica é tratada como um extrapolar da engenharia mecânica. A grade horária é mais enxuta e conta com muitas horas de estudo fora da sala de aula. As áreas de pesquisa demonstram uma grande interdisciplinaridade.

O engenheiro mecânico formado nessas instituições, caso sigam seus estudos no âmbito da mecatrônica, podem optar por robótica, controle e automação. Essas 3 áreas citadas são amplamente oferecidas em disciplinas que mesclam desde biologia até ciência de dados.

6 TRATAMENTO DE DADOS

Trabalhar com análises subjetivas em engenharia pode levar a uma série de erros axiomáticos. Para minimizar essa possibilidade, cabe uma investigação mais objetiva das hipóteses feitas. Essa investigação seguirá a seguinte estrutura: coleta de dados, classificação dos dados e, por fim, extração de métricas estatísticas.

6.1 Modelagem estatísticas

Os dados tratados podem ser divididos em 4 grandes esferas: disciplinas oferecidas pela escola para o curso de bacharelado; disciplinas oferecidas pela escola para ênfases em bacharelados; áreas de pesquisa trabalhadas e cursos disponibilizados.

Os dados serão tabelados e classificados conforme análises de interesse, uma modelagem de acordo com macro áreas, como mecânica, elétrica ou computação. A contagem dos dados enquadrados nessas classificações visa esclarecer como esses cursos são estruturados.

6.2 Coleta e análise de dados

Os dados foram coletados conforme as informações oficiais disponibilizadas nos sites das universidades escolhidas. O principal obstáculo encontrado na compilação desses dados foi o entendimento da estrutura dos cursos. Os sistemas de graduação propostos divergem do brasileiro em diversos aspectos. O entendimento desses sistemas de graduação deve se dar de forma a possibilitar os paralelos que podem ser traçados.

6.2.1 California Institute of Technology (Caltech)

A Caltech não possui um bacharelado em mecatrônica. De maneira similar a outras universidades norte-americanas, o Instituto de Tecnologia da Califórnia entende a mecatrônica como um extrapolar da mecânica. A engenharia mecânica na universidade engloba três grandes áreas: mecânica de materiais; sistemas e controle; e ciências térmicas e dinâmica de fluidos. O estudante possui a possibilidade de realizar uma concentração na área de Sistemas e Controle, além do programa oferecido pelo seu *Major* ou seu *Minor*.

A área de Sistemas e Controle combina uma ampla gama de campos de engenharia. Algumas das áreas usuais são: dinâmica, cinemática e projeto mecânico. Outras áreas interessantes

surgem de conhecimentos interdisciplinares, como processamento de sinal, controle de computador, projeto eletromecânico, sistemas microeletromecânicos (MEMS) e, mais contemporaneamente, bioengenharia. As áreas gerais de interesse incluem teoria de controle, teoria de estimativa, teoria de decisão e robótica.

O CDS *minor* destina-se a suplementar um dos cursos normais de graduação da Caltech e é projetado para estudantes que desejam ampliar seus conhecimentos além do curso normal ou que desejam seguir um programa de pós-graduação envolvendo sistemas de controle ou dinâmicos. Uma possível grade em engenharia mecânica com a *Minor* em Controle pode ser observada no *Quadro 5* e *Quadro 6*.

Quadro 5 - Grade Curricular do curso de engenharia mecânica da Caltech

| Disciplinas - Core |
|--|
| <i>Technical communication: E10 and E11</i> |
| <i>Mathematics: Ma 2, ACM 95 a, ACM 95 b</i> |
| <i>Mathematics: Ma 3, 4, 5abc, 6abc, 7, or any Math or ACM courses numbered 100 and above.</i> |
| <i>Physics: 18 units selected from Ph 2abc</i> |
| <i>Computing: from ACM 11, CS1, CS2, CS11, or EE/CS 51.</i> |
| <i>ME10 Thinking Like an Engineer.</i> |
| <i>ME11 abc Thermal Science</i> |
| <i>ME12abc Mechanics.</i> |
| <i>ME13 Mechanical Prototyping</i> |
| <i>ME14 Design and Fabrication</i> |
| <i>ME50ab Experiments and Modeling in Mechanical Engineering</i> |
| <i>Capstone design: ME72ab or E/ME 105ab or ME90abc or CS/EE/ME75abc*</i> |
| <i>ME courses with numbers greater than 100</i> |
| <i>Differential Equations</i> |
| <i>Computing Elective</i> |
| <i>Thinking Like an Engineer</i> |
| <i>Thermal Science</i> |
| <i>Mechanics</i> |
| <i>Mechanical Prototyping</i> |
| <i>Design and Fabrication</i> |
| <i>Math Electives</i> |
| <i>Physics Electives</i> |
| <i>Intro. Meth. Applied Math.</i> |
| <i>Exp. and Modeling in ME Capstone Design</i> |
| <i>Technical Seminar Presentatio</i> |
| <i>Written Technical Communicatio</i> |
| <i>Math Electives</i> |
| <i>Advanced ME electives</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 6 - Grade Curricular da Minor em controle da Caltech

| Disciplinas - Minors |
|--|
| <i>Introduction to Computer Programming</i> |
| <i>Introduction to Computer Programming</i> |
| <i>Introduction to Feedback Control Systems</i> |
| <i>Nonlinear Dynamics</i> |
| <i>Nonlinear Control</i> |
| <i>Hybrid Systems: Dynamics and Control</i> |
| <i>Adaptive Control</i> |
| <i>Complete a three-term senior thesis approved by the CDS faculty</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Podemos observar na grade da Caltech, uma presença significativa de disciplinas de base. A mecatrônica aqui é entendida como uma extensão da mecânica. Para uma investigação mais direcionada, cabe a análise das disciplinas oferecidas pelo departamento de mecânica:

Quadro 7 - Disciplinas do departamento de Mecânica da Caltech

| Disciplinas do departamento de Mecânica |
|---|
| <i>Introduction to Mechatronics</i> |
| <i>Thinking Like an Engineer</i> |
| <i>Thermal Science</i> |
| <i>Mechanics</i> |
| <i>Mechanical Prototyping</i> |
| <i>Design and Fabrication</i> |
| <i>CNC Machining</i> |
| <i>Experiments and Modeling in Mechanical Engineering</i> |
| <i>Engineering Design Laboratory</i> |
| <i>Multidisciplinary Systems Engineering</i> |
| <i>Senior Thesis, Experimental</i> |
| <i>Independent Studies in Mechanical Engineering</i> |
| <i>Fluid Mechanics</i> |
| <i>Mechanics of Structures and Solids</i> |
| <i>Management of Technology</i> |
| <i>Design for Freedom from Disability</i> |
| <i>Energy Technology and Policy</i> |
| <i>Special Laboratory Work in Mechanical Engineering</i> |
| <i>Hydraulic Engineering</i> |
| <i>Introduction to Kinematics and Robotics</i> |
| <i>Mechanical Behavior of Materials</i> |

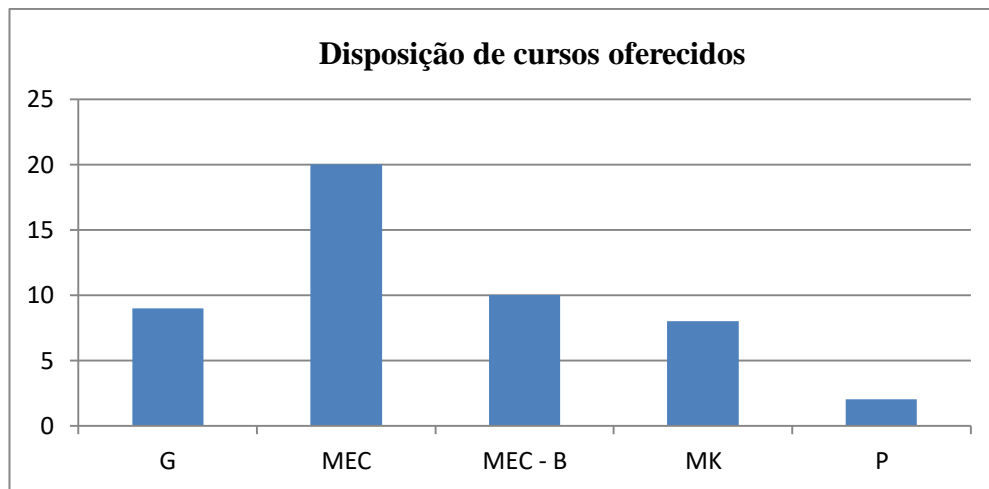
| |
|---|
| <i>Classical Thermodynamics</i> |
| <i>Heat and Mass Transfer</i> |
| <i>Combustion Fundamentals</i> |
| <i>Robotics</i> |
| <i>Autonomy</i> |
| <i>Graduate Engineering Seminar</i> |
| <i>Graduate Engineering Seminar</i> |
| <i>Imperfections in Crystals</i> |
| <i>Mechanics and Rheology of Fluid-Infiltrated Porous Media</i> |
| <i>Finite Elasticity</i> |
| <i>Fracture of Brittle Solids</i> |
| <i>Mechanics of Soils</i> |
| <i>Mechanics of Rocks</i> |
| <i>Advanced Work in Mechanical Engineering</i> |
| <i>Advanced Topics in Mechanical Engineering</i> |
| <i>Engineering Two-Phase Flows</i> |
| <i>Mechanics and Materials Aspects of Fracture</i> |
| <i>Computational Solid Mechanics</i> |
| <i>Dynamic Behavior of Materials</i> |
| <i>Statistical Mechanics</i> |
| <i>Earthquake Source Processes, Debris Flows, and Soil Liquefaction</i> |
| <i>Plasticity</i> |
| <i>Special Topics in Solid Mechanics</i> |
| <i>Computational Fluid Dynamics</i> |
| <i>Closed Loop Flow Control</i> |
| <i>Micromechanics</i> |
| <i>Dynamic Fracture and Frictional Faulting</i> |
| <i>Research in Mechanical Engineering</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

As disciplinas oferecidas foram classificadas conforme o gráfico abaixo, onde:

- G = matérias de engenharia generalizada
- MEC = matérias de mecânica plena
- MEC – B = matérias de mecânica de base
- MK = matérias de mecatrônica
- P = matérias de pesquisa

Figura 20 - Gráfico da disposição de cursos oferecidos pela Caltech



Fonte: elaborado pelo autor

Pode-se notar a influência da mecatrônica nas matérias oferecidas. Um ponto a ser esclarecido diz respeito às disciplinas classificadas como “MEC”. Estas disciplinas estão ligadas ou a linhas de pesquisa específicas ou a áreas de mecânica plena. Sua diferença em relação às disciplinas classificadas como “MEC – B” reside no fato de que estas são disciplinas basilares não somente para engenheiros mecatrônicos ou mecânicos, mas também em outros campos de engenharia.

6.2.2 Delft University of Technology

A *Delft University of Technology* (TU Delft) é um dos grandes centros de ensino e tecnologia dos Países Baixos. Seu país é signatário do Processo de Bolonha, portanto segue o sistema comum de ensino superior europeu.

A TU Delft proporciona ao estudante uma base em matemática e ciências gerais em seus primeiros anos em paralelo com muitos projetos ao longo dos trimestres. O bacharelado tem duração de 3 anos e, ao final, o estudante é direcionado ao programa de mestrado para especializar-se em seus estudos. A grade horária do bacharelado em Engenharia Mecânica pode ser vista no Quadro 8.

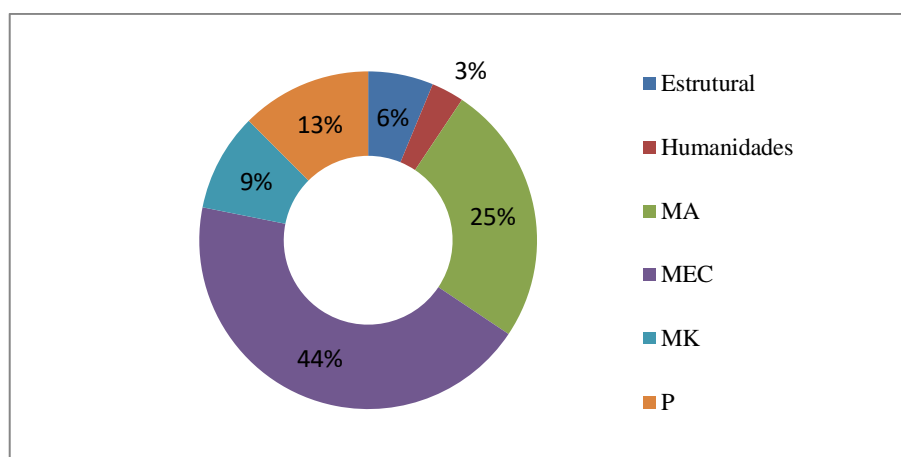
Quadro 8 - Grade Curricular do curso de engenharia mecânica da Delft

| Disciplinas |
|--|
| Matemática 1 - Análise 1 |
| Estática |
| Projeto de Design Mecânico 1 |
| Matemática 1 - Análise 2 |
| Mecânica dos materiais |
| Projeto de Design Mecânico 2 |
| Matemática 2 - Álgebra Linear 1 |
| Dinâmica |
| Projeto de Design Mecânico 3A |
| Matemática 2 - Álgebra Linear 2 |
| Termofluidos |
| Projeto de Design Mecânico 3B |
| Matemática 3 - Análise |
| Mecânica |
| Projeto Mecânico |
| Matemática 3 - Equações diferenciais |
| Fluxo e Calor |
| Tecnologia, Projeto e Termodinâmica |
| Matemática 4 - Probabilidade e estatística |
| Análise de Sinal |
| Projeto mecatrônico |
| Matemática 4 - Cálculo numérico |
| Engenharia dos Materiais |
| Projeto de materiais |
| <i>Minor</i> + projeto final |
| <i>Minor</i> + projeto final |
| Sistema e Tecnologia de Controle |
| Sistemas mecânicos integrados |
| Projeto final de graduação |
| Engenheiro e Sociedade |
| Projeto final de graduação |

Fonte: elaborado pelo autor

A Grade horária pode ser ilustrada no gráfico da Figura 21, elaborado a partir dos dados obtidos.

Figura 21 - Gráfico de disposição de áreas do curso de engenharia mecânica da Delft



Fonte: elaborado pelo autor

Nota: Estrutural: matérias presentes em todos os cursos ofertados

Humanidades: matérias oferecidas em humanas

MA: matérias de matemática

MEC: matérias de engenharia mecânica e física

MK: matérias de engenharia mecatrônica

P: matérias de projeto

A engenharia mecatrônica é posta pela universidade como uma prolongação da mecânica. A presença de disciplinas em mecânica plena é significativa nos anos iniciais do estudo. Robótica, controle e mecatrônica são enfatizadas nos anos que sucedem o mestrado. Existem dois programas que envolvem mecatrônica: *MSc. Systems & Control* e o *MSc. Opto-Mechatronics*. As grades horárias dos referidos cursos de mestrado são mostradas no Quadro 9 e Quadro 10.

Quadro 9 - Grade Curricular da Minor em controle da Delft

| <i>MSc. Systems & Control</i> |
|---|
| <i>Introduction Project</i> |
| <i>Control Theory</i> |
| <i>Filtering & identification</i> |
| <i>Modelling and Nonlinear</i> |
| <i>Systems Theory</i> |
| <i>Optimization in systems and control</i> |
| <i>Systems & Control Electives</i> |
| <i>Free elective Courses</i> |
| <i>Robust and multivariable control design</i> |
| <i>Integration project</i> |
| <i>Philosophy & methodology of engineering science & design</i> |
| <i>Literature study</i> |
| <i>Master thesis project</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 10 - Grade Curricular da Minor em Opto-Mechatronics da Delft

| <i>MSc. Opto-Mechatronics</i> |
|--|
| <i>Physics and Measurement for Mechanical Engineers (6 EC)</i> |
| <i>Heat Transfer</i> |
| <i>Control System Design</i> |
| <i>Nonlinear Mechanics</i> |
| <i>Philosophy of Engineering Science & Design</i> |
| <i>Optics</i> |
| <i>Mechatronic System Design</i> |
| <i>Precision Mechanism Design</i> |
| <i>Intro lab PME</i> |
| <i>Opto-Mechatronics</i> |
| <i>Technical & Micro Optical Systems</i> |
| <i>Student colloquia and events PME</i> |
| <i>Engineering Dynamics</i> |
| <i>Space Instrumentation</i> |
| <i>Adaptive Optics</i> |
| <i>Random Vibrations</i> |
| <i>Thin Film Materials</i> |
| <i>Sensor Materials</i> |
| <i>Geometrical Optics</i> |
| <i>Non-linear Differential Equations</i> |
| <i>Multiphysics mod. using COMSOL</i> |
| <i>Sensors & Actuators</i> |
| <i>Quantum Optics and Lasers</i> |
| <i>MATLAB</i> |
| <i>Predictive Modeling</i> |
| <i>Quasi Optical Systems</i> |
| <i>Imaging Systems</i> |
| <i>Introduction to Charged Particle Optics</i> |
| <i>Engineering Optimization</i> |
| <i>Wavefield imaging</i> |
| <i>Structural Dynamics</i> |
| <i>Optics and Microscopy</i> |
| <i>Traineeship (optional)</i> |
| <i>Literature survey</i> |
| <i>Master thesis project</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Nota: as matérias em azul devem ser escolhidas de maneira tal que o estudante cumpra 18 créditos segundo o sistema utilizado.

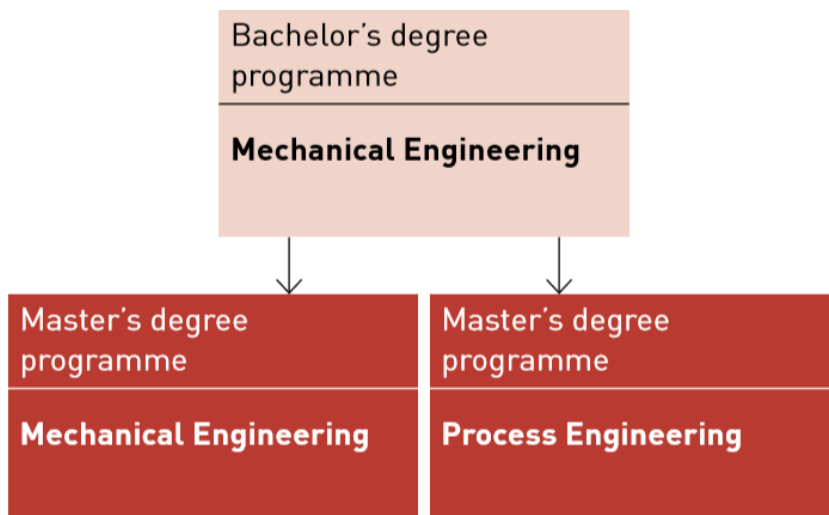
6.2.3 ETH Zurich-Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ)

A ETHZ é uma universidade bem posicionada em todos os grandes rankings internacionais. Grandes nomes passaram por essa escola, como Albert Einstein e diversos professores premiados.

A universidade não disponibiliza um curso de engenharia mecatrônica, mas um mestrado após a conclusão do bacharelado em engenharia mecânica, seja ele através do *Mechanical* ou do *Process Engineering*. Para o programa de bacharelado, temos a seguinte estrutura:

Nos primeiros três semestres, o conhecimento teórico básico de engenharia mecânica é adquirido em disciplinas obrigatórias. A partir do quarto semestre, os alunos participam de disciplinas eletivas em suas principais áreas de interesse. No quinto semestre, eles selecionam uma área de foco ou um projeto de foco. Uma tese de bacharelado deve ser escrita no sexto semestre. Um estágio de cinco semanas em uma empresa industrial é outro componente do programa de bacharelado. (EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH, 2018, p. 28)

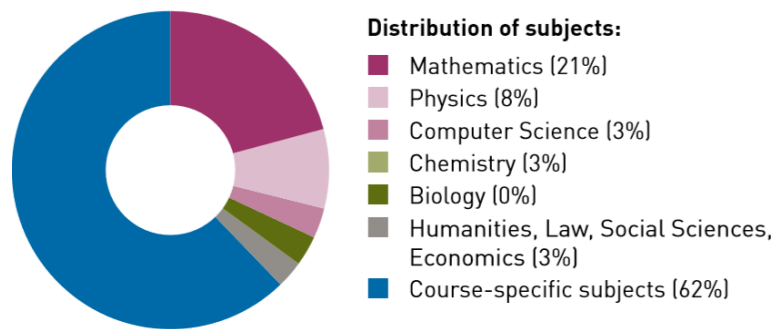
Figura 22 - Opções de curso e mestrado da ETHZ



Fonte: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (2018, p.26)

O bacharelado em engenharia mecânica pode ser dividido em seus dois segundos anos, conforme indicado na Figura 23.

Figura 23 - Disposição de matérias do curso de engenharia mecânica da ETHZ



Course-specific subjects:

Control Systems, Dimensioning, Electrical Engineering, Fluid Dynamics, Engineering Tools, Innovation Project, Innovation Process, Machine Elements, Mechanics, Technical Drawing and CAD, Thermodynamics, Engineering Materials and Production

Fonte: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (2018, p.73)

Um possível caminho que o estudante pode seguir caso deseje o estudo da mecatrônica é a possibilidade do *Specialised Master's Degree Programme in Robotics, Systems and Control*:

A investigação e desenvolvimento no domínio da robótica, sistemas e o controle é por natureza interdisciplinar. O programa de mestrado é, portanto, baseado no conhecimento de engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciência da computação. Isso pode ser complementado por cursos nas áreas de matemática, biologia, física e ciências e engenharia computacional. O programa aborda questões importantes na análise e desenvolvimento de novos sistemas integrados complexos e produtos inovadores. Com a ajuda de um tutor, os alunos desenvolvem seus próprios currículos individuais. Programas de Bacharelado: Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica e Tecnologia da Informação, Ciência da Computação Ciência. (EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH, 2018, p.94)

A universidade oferece programas de mestrado voltados para a Indústria 4.0 como o mestrado em *Data Science e Neural Systems and Computation*. A ETH Zurich possui algumas áreas de foco que direcionam muitas de suas pesquisa, tais como: *Medicine, Data, Sustainability, Manufacturing Technologies, Critical Thinking Initiative*.

Para o entendimento do curso de bacharelado, bem como, do possível mestrado especializado em robótica, analisaremos o Quadro 11 , contendo as disciplinas necessárias para a titulação:

Quadro 11 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica da ETHZ e Mestrado em Robótica e Controle

| Disciplinas |
|---|
| <i>Analysis I + II</i> |
| química |
| Ciência da Computação I |
| Álgebra Linear I + II |
| Elementos da máquina + processo de inovação |
| Mecânica I: Cinemática e Estática + Mecânica II: Corpos deformáveis |
| Materiais e Fabricação I + II |
| Projeto de inovação |
| Desenho Técnico e CAD |
| Análise III |
| dinâmica |
| Dimensionamento I |
| Termodinâmica I |
| Sistema de Controle I |
| Física I e II |
| Engenharia Elétrica I |
| Dinâmica dos Fluidos I |
| Termodinâmica II |
| Dinâmica dos Fluidos II |
| Termodinâmica III |
| 6 eletivas escolhidas entre as matérias destacadas em rosa abaixo: |
| Computational Methods for Engineering Applications I |
| <i>Bioengineering</i> |
| <i>Dimensionieren II</i> |
| <i>Control Systems II</i> |
| Tecnologia de Fabricação |
| <i>Introduction to Quantum Mechanics for Engineers</i> |
| <i>System Modeling</i> |
| <i>Signals and Systems</i> |
| <i>Mass Transfer</i> |
| <i>Elektrotechnik II</i> |
| <i>Managerial Economics</i> |
| <i>Leichtbau</i> |
| <i>Computational Methods for Engineering Applications II</i> |
| <i>Stochastik</i> |
| Ferramentas de Engenharia |
| Práticas de laboratório |
| Estágio |
| Humanas |
| Foco (especialização, que no caso podemos pegar mecatrônica) |
| Projeto do Foco |
| Tese de Bacharelado |

| Mestrado - Robótica/Controle |
|---|
| <i>Robot Design</i> |
| <i>Modeling and Control</i> |
| <i>Systems Engineering</i> |
| <i>Physical Modeling and Simulation</i> |
| <i>Optimization and Control</i> |
| <i>Perception</i> |
| <i>Graphics</i> |
| <i>Virtual Reality</i> |
| <i>Navigation and Path Planning</i> |
| <i>Embedded and Distributed Computing</i> |
| <i>Artificial Intelligence</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

A estrutura do bacharelado pode ser vista na Figura 24.

Figura 24 - Estrutura do curso de engenharia mecânica da ETHZ

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

Fonte: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (2019b)

6.2.4 Georgia Institute of Technology

O Instituto de Tecnologia da Geórgia (*Georgia Institute of Technology*, também conhecido como *Georgia Tech*, é notoriamente reconhecido por ser um grande centro de engenharia.

Como grande parte das universidades norte-americanas, a Georgia Tech segue o sistema de graduação *Major/Minor* com algumas concentrações. Este sistema é similar ao de outras universidade de excelência, como o MIT.

Não existe no instituto uma graduação de mecatrônica, como existe em universidades brasileiras. Entretanto, como será evidenciado, a grade do curso de Engenharia Mecânica é fortemente associada a áreas de controle, eletrônica e computação. Um paralelo interessante de ser traçado diz respeito à saturação das grades de Engenharia da Georgia Tech. As universidades brasileiras (a exemplo a própria EESC) possuem uma carga horária de engenharia mais saturada do que a dos cursos norte-americanos e por consequência ao da

Georgia Tech, o que possibilita ao aluno do instituto uma maior pluralidade de opções acadêmicas e profissionais, uma vez que pode ingressar em mais possibilidades de *majors* e *minors* em sua graduação.

Os Quadro 12 ao Quadro 16 apresentam as informações tabeladas para uma maior visualização do funcionamento e da estrutura do curso dado pelo instituto.

Quadro 12 - Concentrações em engenharia mecânica da Georgia Tech

| Concentrações em engenharia mecânica |
|---|
| <i>General</i> |
| <i>Automotive</i> |
| <i>Automation and Robotic System</i> |
| <i>Design</i> |
| <i>Manufacturing</i> |
| <i>Mechanics of Materials</i> |
| <i>Micro- and Nano-Engineering</i> |
| <i>Nuclear and Radiological Engineering</i> |
| <i>Thermal, Fluid and Energy Systems</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 13 - Concentrações em engenharia industrial da Georgia Tech

| Concentrações em engenharia industrial |
|---|
| <i>Bachelor of Science in Industrial Engineering - Advanced Studies in Operations Research and Statistics</i> |
| <i>Bachelor of Science in Industrial Engineering - Analytics and Data Science</i> |
| <i>Bachelor of Science in Industrial Engineering - General</i> |
| <i>Bachelor of Science in Industrial Engineering - Economic and Financial Systems</i> |
| <i>Bachelor of Science in Industrial Engineering - Operations Research</i> |
| <i>Bachelor of Science in Industrial Engineering - Quality and Statistics</i> |
| <i>Bachelor of Science in Industrial Engineering - Supply Chain Engineering</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 14 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica da Georgia Tech

| Grade horária do curso de engenharia mecânica |
|--|
| <i>General Chemistry</i> |
| <i>Differential Calculus</i> |
| <i>Linear Algebra</i> |
| <i>Legislative</i> |
| <i>English Composition I</i> |
| <i>Wellness</i> |
| <i>Physics I</i> |
| <i>Integral Calculus</i> |
| <i>Computing for Engineers</i> |
| <i>Intro to Engineering Graphics</i> |
| <i>English Composition 2</i> |
| <i>Physics 2</i> |
| <i>Multivariable Calculus</i> |
| <i>Creative Decisions and Design</i> |
| <i>Engineering Materials</i> |
| <i>Statics</i> |
| <i>Circuits & Electronics</i> |
| <i>Differential Equations</i> |
| <i>Computing Techniques</i> |
| <i>Dynamics of Rigid Bodies</i> |
| <i>Social Science Elective</i> |
| <i>Instrument & Electronics Lab</i> |
| <i>Mechanics of Deformable Bodies</i> |
| <i>Thermodynamics</i> |
| <i>Fluid Mechanics</i> |
| <i>Economics</i> |
| <i>Humanities Elective</i> |
| <i>System Dynamics</i> |
| <i>Heat Transfer</i> |
| <i>Experimental Methods Lab</i> |
| <i>Engineering Economics</i> |
| <i>Statistics & Applications</i> |
| <i>Social Science Elective</i> |
| <i>Design Elective</i> |
| <i>Design, Materials & Manufacture</i> |
| <i>ME Systems Lab</i> |
| <i>Free Elective</i> |
| <i>Free Elective</i> |
| <i>Capstone Design</i> |
| <i>ME Elective</i> |
| <i>Humanities Elective</i> |
| <i>Free Elective</i> |
| <i>Free Elective</i> |
| <i>Free Elective</i> |
| <i>Ethics</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 15 - Concentração em robótica e automação da Georgia tech

| Concentração em robótica e automação |
|--|
| <i>Machine Design</i> |
| <i>Control of Dynamic Systems 4</i> |
| <i>Hybrid Vehicle Powertrains</i> |
| <i>Advanced Structural Vibrations</i> |
| <i>Modeling and Control of Motion</i> |
| <i>Robotics</i> |
| <i>Fundamentals of Mechatronics</i> |
| <i>Introduction to Artificial Intelligence</i> |
| <i>Machine Learning</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 16 - Minor em robótica da Georgia tech

| Minor em Robótica |
|-------------------------------------|
| <i>Intro-Perception&Robotic</i> |
| <i>Intro-Automation&Robotic</i> |
| <i>Robotics</i> |
| <i>Medical Robotics</i> |
| <i>Intro Humans & Autonomy</i> |
| <i>Intro-Artificial Intell</i> |
| <i>Machine Learning</i> |
| <i>Robot Intelli Planning</i> |
| <i>Embedded&Hybrid Control</i> |
| <i>Ctrl Sys Analysis&Design</i> |
| <i>Feedback Control Systems</i> |
| <i>Control Dynamic Systems</i> |
| <i>Control System Design</i> |
| <i>Motion Systems</i> |
| <i>Fund of Mechatronics</i> |
| <i>Dynamics</i> |
| <i>Dynamics</i> |
| <i>Dynamics of Rigid Bodies</i> |
| <i>Sys Dynamics&Vibration</i> |
| <i>Structural Vibrations</i> |
| <i>Sensors& Instrumentation</i> |
| <i>Biomed Instrumentation</i> |
| <i>Intro-Medical Image Proc</i> |
| <i>Intro to Computer Vision</i> |
| <i>Pattern Recognition</i> |
| <i>Intro Signal Processing</i> |
| <i>Embedded Systems Design</i> |
| <i>Applications of DSP</i> |

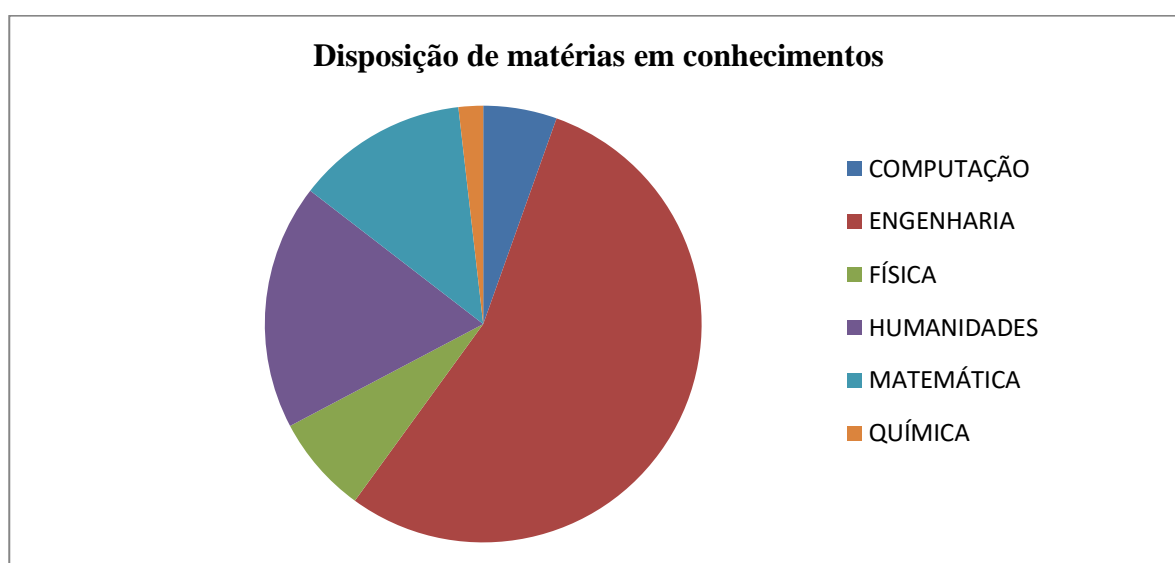
Fonte: elaborado pelo autor

Com o intuito de metrificarmos o estudo oferecido pelo curso da *Georgia Tech*, duas grandes classificações foram utilizadas: quanto ao conhecimento e quanto às áreas. A primeira, diz respeito à disposição das disciplinas quanto aos conhecimentos que elas majoritariamente

abordam. A segunda classificação diz respeito à disposição das disciplinas quanto ao enquadramento dos conhecimentos abordados. A maior diferença entre as classificações diz respeito à classificação das disciplinas de engenharia.

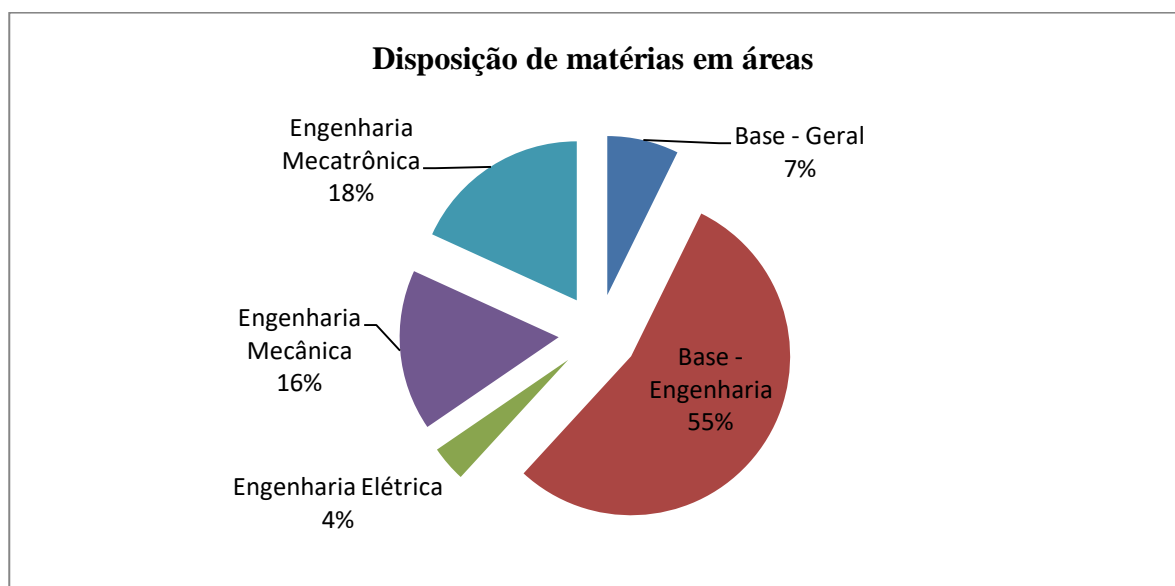
Como pode-se observar, a carga horária total do curso de mecânica possui menos disciplinas e mais possibilidades de estudo. Para um típico estudante de engenharia mecânica com concentração e *minor* em automação e robótica, já resguardadas as seleções de disciplinas mínimas, teríamos a configuração média indicada na Figura 25 e Figura 26.

Figura 25 - Disposição das matérias em conhecimentos do curso de engenharia mecânica da Georgia Tech



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 26 - Disposição das matérias em áreas do curso de engenharia mecânica da Georgia Tech



Fonte: elaborado pelo autor

6.2.5 Harvard University

Havard é uma universidade que, por muitos anos, figura entre as melhores universidades do mundo. Para o presente trabalho, existe um especial interesse na *Harvard John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences*.

Não existe uma graduação em mecatrônica em Harvard, pois ela é entendida como uma extensão da mecânica. Para ser mais específico, o que a EESC propõe para a grade de engenharia mecatrônica, Harvard propõem como Engenharia Mecânica orientada a uma ênfase. No que se refere a graduação, a universidade trabalha com os programas apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 - Programas de graduação em engenharia de Havard

| Available Concentrations | |
|--|--|
| Area of interest | A.B. |
| <i>Bioengineering</i> | <i>AB Biomedical Engineering</i> <i>AB Engineering Sciences (Biomedical Sciences and Engineering Track)</i> |
| <i>Electrical Engineering</i> | <i>AB Engineering Sciences (Electrical and Computer Engineering Track)</i> |
| <i>Environmental Science and Engineering</i> | <i>AB Environmental Science and Engineering</i> |
| <i>Mechanical Engineering</i> | <i>AB Engineering Sciences (Mechanical and Materials Science and Engineering Track)</i> |
| Available Concentrations | |
| Area of interest | S.B. |
| <i>Bioengineering</i> | <i>SB Engineering Sciences (Bioengineering Track)</i> |
| <i>Electrical Engineering</i> | <i>SB Electrical Engineering</i> |
| <i>Environmental Science and Engineering</i> | <i>SB Engineering Sciences (Environmental Science and Engineering Track)</i> |
| <i>Mechanical Engineering</i> | <i>SB Mechanical Engineering</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Nota: AB: 14-16 cursos, requisitos mais flexíveis, podendo fazer tese baseada em pesquisa, ou fazer outra concentração conjunta.

SB: 20 cursos, cursos de design de engenharia, incluindo projeto *capstone individual* no ES100 (esta é uma tese exigida), acreditado pela ABET (para licenciamento profissional o S.B. em Engenharia Mecânica deve conter pelo menos 20 semi-cursos: 4 semi-cursos em matemática, 4 semi-cursos em ciências básicas e 12 semi-cursos em tópicos de engenharia.).

Uma típica grade horária pode ser observada no Quadro 18.

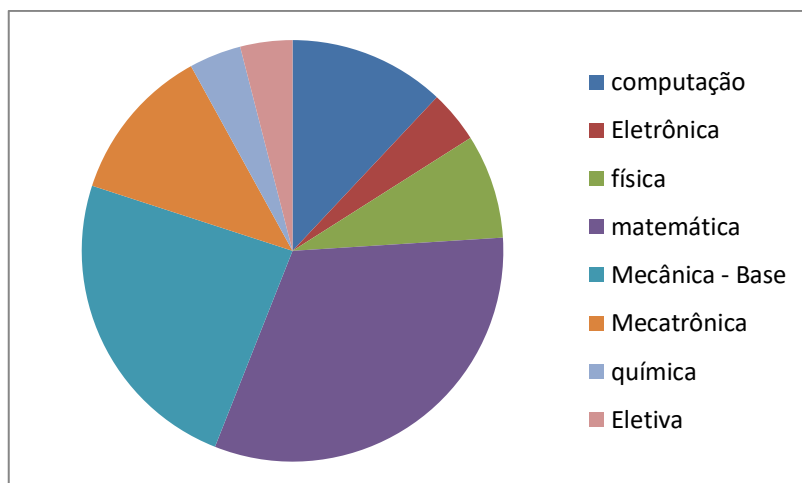
Quadro 18 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica de Harvard

| Disciplinas |
|---|
| <i>Math 1a – Intro to Calculus 1</i> |
| <i>Math 1b – Intro to Calculus 2</i> |
| <i>AM 21a – Mathematical Methods in the Sciences 1 (or Math 21a or 23a)</i> |
| <i>Math 21b – Linear Algebra & Differential Equations (or AM 21b or 23b)</i> |
| <i>AM 101 - Statistical Inference for Scientists & Engineers</i> |
| <i>ES 150 – Intro to Probability with Engineering Applications</i> |
| <i>Statistics 110 - Introduction to Probability</i> |
| <i>Applied Mathematics</i> |
| <i>PS 12a – Mech from an Analytic, Num & Exp Perspective (or Physics 15a or 16, AP 50a)</i> |
| <i>PS 12b – E & M from an Analytic, Num & Exp Perspective (or Physics 15b or AP50b)</i> |
| <i>Chemistry/Life Science</i> |
| <i>CS 50 – Intro to Computer Science 1</i> |
| <i>CS 51 – Intro to Computer Science 2</i> |
| <i>CS 61 – System Programming & Machine Organization</i> |
| <i>ES 54 – Electronics for Engineers or ES 153 – Laboratory Electronics or ES 152 AND CS 141</i> |
| <i>ES 51 - Computer Aided Machine Design</i> |
| <i>ES 120 - Intro to the Mechanics of Solids</i> |
| <i>ES 123 – Intro to Fluid Mechanics & Transport Processes</i> |
| <i>ES 125 – Mechanical Systems</i> |
| <i>ES 181 – Engineering Thermodynamics</i> |
| <i>ES 183 – Intro to Heat Transfer</i> |
| <i>ES 190 – Intro to Materials Science & Engineering</i> |
| <i>Engineering Elective</i> |
| <i>ES 96 – Engineering Problem Solving & Design Project* or ES 227 – Medical Device Design*</i> |
| <i>ES 100hf – Engineering Design Projects</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

O que se pode observar no programa oferecido é a elevada quantidade de disciplinas de base para a engenharia e a reduzida quantidade de matérias específicas, cabendo ao próprio aluno o direcionamento de seus estudos. Para ilustrar essa afirmação é apresentado o gráfico sobre a disposição das matérias na Figura 27.

Figura 27 - Gráfico de disposição de matérias do curso de engenharia mecânica de Harvard



Fonte: elaborado pelo autor

Para entender a presença e as área de estudo do departamento, pode-se investigar as áreas de pesquisa e as possíveis disciplinas eletivas que usualmente são escolhidas, conforme Quadro 19.

Quadro 19 - Matérias eletivas em engenharia em Harvard

| Engineering Electives |
|---|
| <i>ES 6 – Environmental Science & Technology</i> |
| <i>ES 50 – Introduction to Electrical Engineering</i> |
| <i>ES 53 – Quantitative Physiology as a Basis for Bioengineering</i> |
| <i>AP 195 – Intro to Solid State Physics</i> |
| <i>BE 110 - Physiological Systems Analysis</i> |
| <i>BE 128 – Intro to Biomedical Imaging & Systems</i> |
| <i>CS 51 – Intro to Computer Science 2</i> |
| <i>CS 61 – System Programming & Machine Organization</i> |
| <i>CS 141 – Computing Hardware</i> |
| <i>ES 54 – Electronics for Engineers</i> |
| <i>ES 111 – Intro to Scientific Computing</i> |
| <i>ES 115 – Mathematical Modeling</i> |
| <i>ES 121 – Intro to Optimization: Models & Methods</i> |
| <i>ES 125 – Mechanical Systems</i> |
| <i>ES 128 - Computational Solid and Structural Mechanics</i> |
| <i>ES 135 – Physics & Chemistry: In the Context of Energy & Climate at the Global & Molecular Level</i> |
| <i>ES 151 – Applied Electromagnetism</i> |
| <i>ES 153 – Laboratory Electronics</i> |
| <i>ES 156 - Signals and Systems</i> |
| <i>ES 158 - Feedback Systems: Analysis & Design</i> |
| <i>ES 159 – Introduction to Robotics</i> |
| <i>ES 162 - Hydrology and Environmental Geomechanics</i> |
| <i>ES 165 - Water Engineering</i> |
| <i>ES 173 - Introduction to Electronic and Photonic Devices</i> |
| <i>ES 175 – Photovoltaic Devices</i> |
| <i>ES 176 - Introduction to MicroElectroMechanical System</i> |
| <i>ES 177 – Microfabrication Laboratory</i> |
| <i>ES 231 – Energy Technology</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Observa-se a influência da eletrônica e computação na grade oferecida por Harvard e, ainda além, a presença de matérias que são basais para “tecnologias 4.0”. A título de compreensão do departamento, as maiores áreas de pesquisa na área de mecânica foram pontuadas, são elas:

Quadro 20 - Grandes áreas de pesquisa em mecânica de Harvard

| <i>Materials and Mechanical Engineering</i> |
|---|
| <i>Materials Science</i> |
| <i>Robotics and Control</i> |
| <i>Soft Condensed Matter</i> |
| <i>Solid Mechanics</i> |
| <i>Surface and Interface Science</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Engenharia Mecânica centra-se no estudo e aplicação de sistemas mecânicos. Abrange uma gama de subtópicos, incluindo mecatrônica e robótica, análise estrutural, termodinâmica e projeto de engenharia, incluindo a análise de sistemas mecânicos usando métodos de elementos finitos, a ciência de novos materiais e dispositivos para sistemas microeletromecânicos (MEMS) e aplicações biológicas e nanotecnológicas. Os alunos recebem uma educação fundamental em disciplinas centrais para os desafios em energia, transporte, manufatura, robótica e desenvolvimento de infraestrutura pública. (HARVARD JOHN A. PAULSON, 2019d)

6.2.6 *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*

Existem 5 grandes escolas no MIT, entre elas, a escola de engenharia. A mecatrônica não é discriminada da mecânica nessa escola, uma vez que ela é entendida como um prolongamento da mesma. Analisando a grade e a proposta político pedagógica do curso de Engenharia Mecânica do MIT podemos evidenciar esse argumento.

O Departamento de Engenharia Mecânica oferece 3 programas de graduação. O primeiro, mais tradicional, oferece o bacharelado em Engenharia Mecânica. O segundo programa oferece um bacharelado em engenharia mais amplo, que proporciona o estudante uma carreira mais flexível para uma eventual área de interesse. O terceiro programa, em engenharia mecânica e oceânica, se aplica aos aspectos de engenharia da ciência, exploração e utilização dos oceanos e do transporte marítimo.

Antes de aprofundarmos na análise da instituição, cabe uma breve explicação sobre o funcionamento de seus cursos. Os estudantes do *Massachusetts Institute of Technology* não aplicam suas candidaturas a um curso específico. Mais precisamente, todos os estudantes entram para a instituição em si, e não para um bacharelado de escolha como ocorre nas

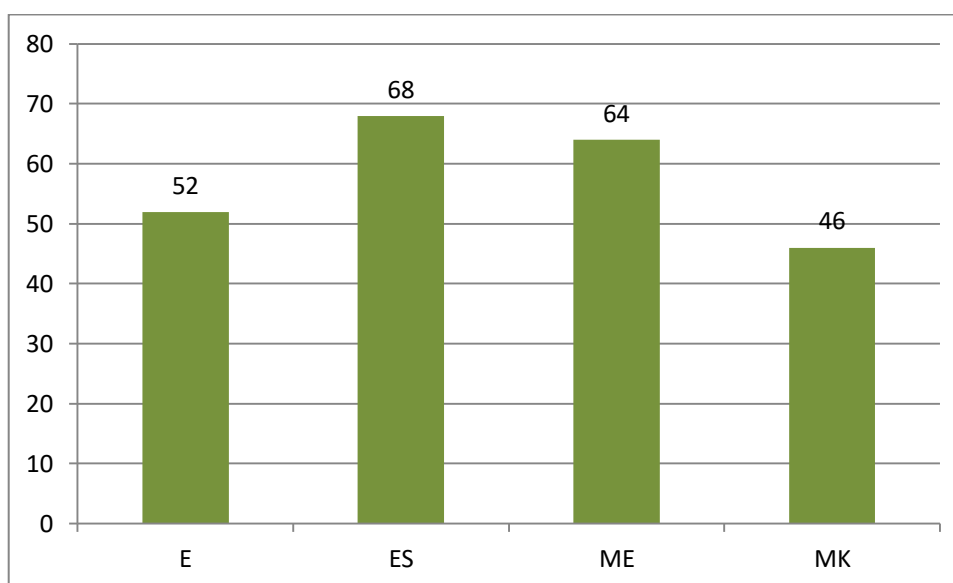
universidades brasileiras. Esse método de ensino leva ao seguinte questionamento: o objeto de estudo de um estudante de engenharia não deveria divergir do objeto de estudo de um estudante de arte? Para o MIT sim, porém não da maneira que as faculdades brasileiras entendem.

Para o conjunto de escolas do MIT, os alunos ingressantes devem estudar uma gama de matérias comum a todos os cursos e após um ano podem escolher um objeto de estudo próprio de um campo de interesse. Em um exemplo claro, todos os estudantes possuem, em sua grade inicial, disciplinas sobre biologia, física, cálculo, humanidades e até mesmo educação física. Os alunos recebem uma formação mais “holística” nos primeiros semestres e só depois especificam-se no estudo.

Outro ponto a ser esclarecido diz respeito à formação dos estudantes. O MIT segue o sistema de *Majors* e *Minors*. Entenderemos aqui a *Major* como o bacharelado e o *Minor* como uma especificação. Do ponto de vista da mecatrônica, o *Major* seria a mecânica e, embora não exista propriamente uma *Minor* de mecatrônica, existem diversas especificações direcionadas a controle, robótica e automação.

As disciplinas oferecidas pelo departamento para a formação do engenheiro mecatrônico/mecânico são plurais e dividem-se em uma ampla área de pesquisa: aplicações médicas e biológicas, foco naval e oceânico, nanotecnologia e até mesmo disciplinas focadas em gestão e logística de suprimentos em fábrica. A Figura 28 permite entendermos melhor o posicionamento da mecatrônica no MIT.

Figura 28 - Disposição de disciplinas do curso de engenharia mecânica do MIT



Fonte: elaborado pelo autor

O gráfico esclarece a disposição das disciplinas oferecidas pelo Departamento de Mecânica do instituto. Todas as disciplinas oferecidas foram tabeladas e classificadas em 5 grandes grupos: Estruturais (E), Específicas (ES), Mecânicas (ME) e Mecatrônicas (MK). Como o propósito do trabalho é a análise da Mecatrônica, não faria sentido expor detalhes de outras disciplinas específicas, como disciplinas referentes à acústica ambiental em oceanos, que também é oferecida pelo departamento.

Um ponto também a ser discutido refere-se à classificação utilizada. A depender do critério utilizado, a classificação das disciplinas pode oscilar. Eventuais disciplinas classificadas como estruturais podem ser vistas como mecânica e vice-versa. Contudo, como a meta ainda é a análise global do departamento, as classificações contraditórias são diluídas ao longo das 230 disciplinas analisadas.

Visto que as possibilidades de estudo da universidade são extensas, existe um programa de bacharelado específico para a graduação em Engenharia Mecânica? Sim, mas ele é menos carregado em sua grade justamente para possibilitar ao aluno a busca de uma área de interesse. O *Major* de Engenharia mecânica é apresentado no

Quadro 21.

Quadro 21 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica do MIT

| Classificação - MIT | Disciplina |
|--|--|
| <i>General Institute Requirements (GIRs)</i> | <i>Science Requirement</i> |
| | <i>(Calculus I & II, Physics I & II, Chemistry, Biology)</i> |
| <i>General Institute Requirements (GIRs)</i> | <i>Humanities, Arts, and Social Sciences Requirement</i> |
| <i>General Institute Requirements (GIRs)</i> | <i>Restricted Electives in Science and Technology (REST) Requirement</i> |
| <i>General Institute Requirements (GIRs)</i> | <i>Laboratory Requirement</i> |
| <i>Communication Requirement</i> | <i>2 subjects designated as Communication Intensive in Humanities, Arts, and Social Sciences (CI-H); and</i> |
| <i>Communication Requirement</i> | <i>2 subjects designated as Communication Intensive in the Major</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Mechanics and Materials I</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Mechanics and Materials II</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Dynamics and Control I,</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Dynamics and Control II</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Thermal-Fluids Engineering I,</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Thermal-Fluids Engineering II</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Design and Manufacturing II</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>The Product Engineering Process</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Numerical Computation for Mechanical Engineers</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Mechanical Engineering Tools</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Measurement and Instrumentation</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Differential Equations</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Undergraduate Thesis,</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Design and Manufacturing I,</i> |
| <i>Required Departmental Core Subjects</i> | <i>Design of Electromechanical Robotic Systems,</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Para completar o *Major*, o estudante ainda deve cursar duas das disciplinas apresentadas no Quadro 22.

Quadro 22 - Matérias complementares do curso de engenharia mecânica do MIT

| Classificação - MIT | Disciplina |
|-------------------------------------|---|
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Hydrodynamics</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Design of Electromechanical Robotic Systems</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Design of Ocean Systems</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Nonlinear Dynamics I</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Computer Methods in Dynamics</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Introduction to Robotics</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Analysis and Design of Feedback Control Systems,</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Biomechanics and Neural Control of Movement,</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Fundamentals of Nanoengineering</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Intermediate Heat and Mass Transfer</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Fundamentals of Advanced Energy Conversion</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Micro/Nano Engineering Laboratory</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Optics</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Elements of Mechanical Design</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Molecular, Cellular, and Tissue Biomechanics</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Environmentally Benign Design and Manufacturing</i> |
| <i>Restricted Elective Subjects</i> | <i>Management in Engineering</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Como podemos perceber, a presença da mecatrônica na grade da mecânica é enfatizada. As disciplinas específicas são menos numerosas e possibilitam ao aluno a busca por uma grade personalizada.

O aluno do MIT tem a possibilidade de cursar até 2 *Majors* e 2 *Minors* de sua escolha. Outra possibilidade de formação diz respeito às concentrações de disciplinas que os alunos escolhem. O Departamento de Engenharia mecânica oferece as concentrações apresentadas no Quadro 23.

Quadro 23 - Concentrações em engenharia do MIT

| Concentração |
|---|
| <i>Biomechanics and Biomedical Devices</i> |
| <i>Control, Instrumentation and Robotic</i> |
| <i>Energy</i> |
| <i>Engineering Management</i> |
| <i>Entrepreneurship</i> |
| <i>Environmental Mechanics</i> |
| <i>Industrial Design</i> |
| <i>Manufacturing</i> |
| <i>Mechanics (Math/Computation)</i> |
| <i>Nano/Micro Engineering</i> |
| <i>Product Development</i> |
| <i>Sustainable and Global Development</i> |
| <i>Transportation</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Analizando as possibilidades de grade curricular para os engenheiros do MIT, chega-se a conclusão de que a eletrônica e a computação estão intimamente ligadas à engenharia mecânica e, um passo além, a Indústria 4.0 está cada vez mais presente nas disciplinas do domínio da mecatrônica.

6.2.7 University of Hong Kong

A *University of Hong Kong* (HKU) é considerada um grande centro tecnológico. Seu lema é *Sapientia et Virtus*, que significa sabedoria e virtude em latim. A universidade possui uma ampla gama de cursos.

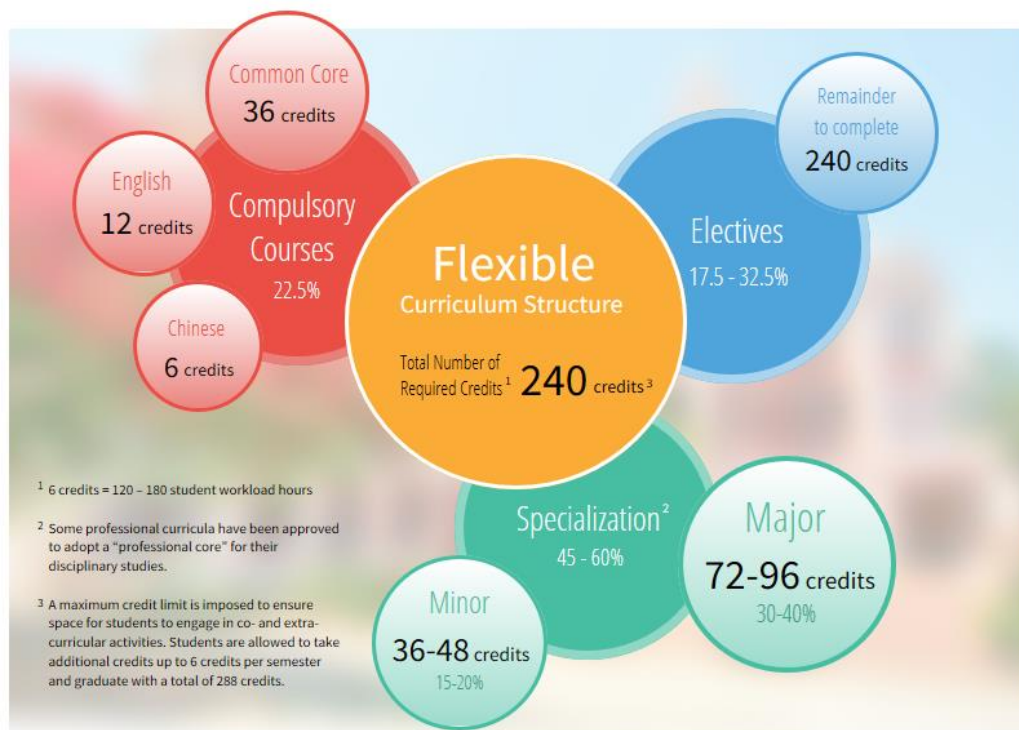
O currículo de graduação de 4 anos da HKU oferece flexibilidade para os alunos projetarem sua própria combinação de cursos disciplinares, *minors* e eletivas dentro e fora de suas faculdades de origem.

O Currículo Básico Comum da HKU é a peça central do currículo de graduação. Se propõe a estimular a curiosidade intelectual dos alunos para explorar questões de profundo significado para a humanidade através de quatro Áreas de Inquérito (AoI): Alfabetização Científica e Tecnológica; Humanidades; Questões Globais; e China: Cultura, Estado e Sociedade. Os alunos normalmente são obrigados a fazer seis cursos do *Common Core*, um de cada AoI e não mais de dois de qualquer AoI. Cursos Básicos Comuns são interdisciplinares por natureza e são ministrados por professores de todas as Faculdades.

Não existe um programa de graduação em engenharia mecatrônica, a mesma é tratada como uma extensão da mecânica.

Os cursos são geralmente estruturados conforme ilustrado na Figura 29.

Figura 29 - Estrutura geral dos cursos da HKU



Fonte: THE University of Hong Kong (2014)

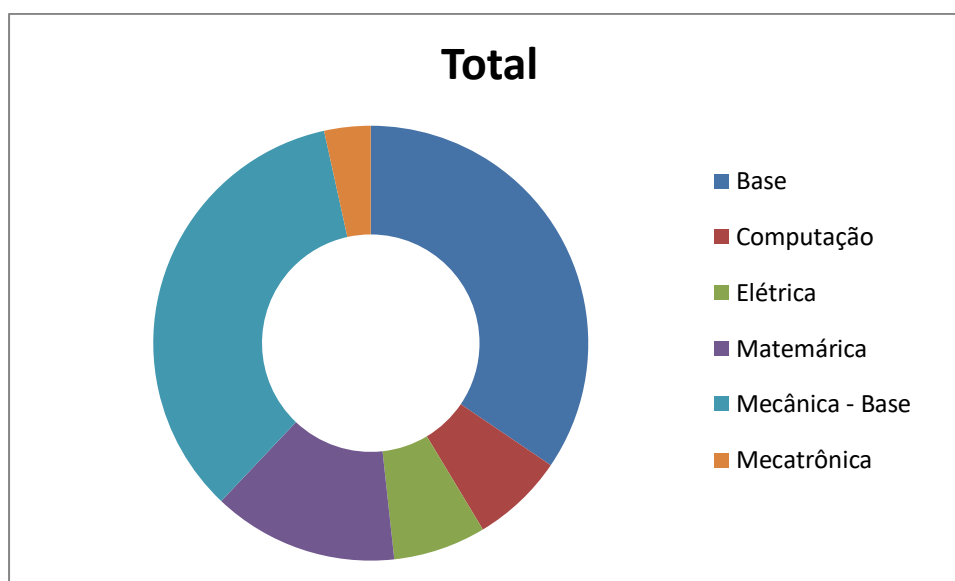
A aprendizagem experiencial é um elemento distintivo do currículo de graduação da HKU. É preciso aprender fora do limite tradicional da sala de aula. Os alunos têm que identificar problemas, comunicar e negociar com os outros para encontrar soluções e tomar decisões em situações da vida real. Nesse processo, eles dão sentido ao conhecimento teórico que estão estudando e veem as coisas sob uma luz diferente. Em algumas faculdades, a aprendizagem experiencial é um requisito de graduação. Gallant Ho Centro de Aprendizagem Experiencial foi criado em março de 2012 para facilitar e promover a aprendizagem experiencial em HKU. (THE UNIVERSITY OF HONG KONG, 2014)

Existem 5 departamentos de engenharia na universidade, são eles:

- *Civil Engineering*
- *Computer Science*
- *Electrical and Electronic Engineering*
- *Industrial and Manufacturing Systems Engineering*
- *Mechanical Engineering*

No que tange ao bacharel em engenharia mecânica, temos a configuração apresentada na Figura 30.

Figura 30 - Disposição das matérias do curso de engenharia mecânica da HKU



Fonte: elaborado pelo autor

As disciplinas oferecidas para o título de bacharel podem ser observadas no Quadro 24, com uma especial atenção para as disciplinas de currículo comum.

Quadro 24 - Grade curricular do curso de engenharia mecânica da HKU

| Plano de estudo sugerido |
|---|
| <i>Calculus and ordinary differential equations</i> |
| <i>Linear algebra, probability & statistics</i> |
| <i>Fundamental mechanics</i> |
| <i>Electricity and electronics</i> |
| <i>Engineers in the modern world</i> |
| <i>Computer programming I</i> |
| <i>Computer programming II</i> |
| <i>Thermofluid mechanics</i> |
| <i>Core University English</i> |
| <i>Two Common Core Courses</i> |
| <i>Drawing and elements of design and manufacture</i> |
| <i>Fundamentals of electrical engineering</i> |
| <i>Multivariable calculus and partial differential equations</i> |
| <i>Engineering mechanics</i> |
| <i>Thermofluids</i> |
| <i>Properties of materials</i> |
| <i>Engineering training</i> |
| <i>Engineering thermodynamics</i> |
| <i>Advanced partial differential equation and complex variables</i> |
| <i>Mechanics of fluids</i> |
| <i>Mechanics of solids</i> |

| |
|---|
| <i>Dynamics and control</i> |
| <i>Design and manufacture</i> |
| <i>Practical Chinese for engineering students</i> |
| <i>Four Common Core Courses</i> |
| <i>Engineering & technology management</i> |
| <i>Technical English for mechanical engineering</i> |
| <i>Integrated capstone experience</i> |
| <i>Elective Courses</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

As disciplinas obrigatórias para todos os estudantes e, consequentemente, para os alunos de engenharia são apresentadas no Quadro 25.

Quadro 25 - Disciplinas comuns a todos os estudantes da HKU

| <i>Examples of courses Core Curriculum</i> |
|---|
| |
| <i>Scientific and Technological Literacy AoI</i> |
| <i>Living with Stem Cells</i> |
| <i>Our Place in the Universe</i> |
| <i>Science and Health: The Ever-changing Challenges and Solutions</i> |
| <i>The World of Waves</i> |
| <i>Humanities AoI</i> |
| <i>Art and Ideas: East and West</i> |
| <i>Spirituality, Religion and Social Change</i> |
| <i>Stages of Life: Scientific Fact or Social Fiction?</i> |
| <i>The Last Dance: Understanding Death and Dying</i> |
| <i>Global Issues AoI</i> |
| <i>Contagions: Global Histories of Disease</i> |
| <i>Cybersocieties: Understanding Technology as Global Change</i> |
| <i>Poverty, Development, and the Next Generation: Challenges for a Global World</i> |
| <i>World Heritage and Us</i> |
| <i>China: Culture, State and Society AoI</i> |
| <i>China in the Global Economy</i> |
| <i>Environmental Pollution in China</i> |
| <i>Ideas and Practices of Healing in Traditional China</i> |
| <i>Modernizing China's Constitution: Failures and Hope</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

Uma observação a ser incluída: disciplinas próprias do domínio de mecatrônica podem ser cursadas em *Minors* ou em concentrações de interesse, conforme Quadro 26.

Quadro 26 - Especializações para engenheiros oferecidas pela HKU

| Especializações |
|---|
| <i>Aeronautical Engineering</i> |
| <i>Building Services Engineering</i> |
| <i>Biomechanical Engineering</i> |
| <i>Control, Automation and Instrumentation</i> |
| <i>Design & Manufacturing</i> |
| <i>Dynamics, Vibration and Acoustics</i> |
| <i>Energy & Environment</i> |
| <i>Engineering Management, Economics & Ethics</i> |
| <i>Engineering Mathematics</i> |
| <i>Materials & Nano-technologies</i> |
| <i>Mechanics of Fluids</i> |
| <i>Mechanics of Solids</i> |
| <i>Thermal Engineering</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

6.2.8 RWTH Aachen University

A Universidade Técnica da Renânia do Norte-Vestfália/Vestefália em Aachen é uma das grandes instituições de excelência da Alemanha. A instituição é bem pontuada em todos os rankings analisados e é signatária do Processo de Bolonha.

Existem dois bacharelados oferecidos pela universidade que estão no domínio da engenharia mecânica:

- *Business Administration and Engineering: Mechanical Engineering B.Sc.*
- *Mechanical Engineering B.Sc.*

Não existe um curso voltado para engenharia mecatrônica ou controle e automação. Do ponto de vista da universidade, a engenharia mecatrônica sobre-excede a mecânica e é estudada após os 3 anos de bacharelado. Evidente que algumas disciplinas oferecidas na grade dos bacharelados estão no domínio da mecatrônica, mas ainda tratadas no bacharelado de engenharia mecânica.

A grade da do bacharelado em *Mechanical Engineering B.Sc.* pode ser vista no Quadro 27.

Quadro 27 - Grade horária do curso de engenharia mecânica da RWTH

| Disciplina |
|--|
| <i>Introduction to Mechanical Engineering</i> |
| <i>Mechanics I</i> |
| <i>Machine Design I</i> |
| <i>Mathematics I</i> |
| <i>Physics</i> |
| <i>Chemistry</i> |
| <i>Communication</i> |
| <i>Organizational Development</i> |
| <i>Mechanics II</i> |
| <i>Introduction to CAD</i> |
| <i>Principles of Electronics für Mechatronic Systems</i> |
| <i>Thermodynamics I</i> |
| <i>Mathematics II</i> |
| <i>Computer Science</i> |
| <i>Mechanics III</i> |
| <i>Materials Science II</i> |
| <i>Fluid Mechanics I</i> |
| <i>Numerical Mathematics</i> |
| <i>Simulation Technology</i> |
| <i>Heat and Mass Transfer</i> |
| <i>Control Engineering</i> |
| <i>Business Engineering</i> |
| <i>Subjects from the selected career field</i> |
| <i>Quality and project management</i> |
| <i>Project – 6 weeks</i> |
| <i>Subjects from the selected career field</i> |
| <i>Internship and Bachelor's thesis</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

A partir do quinto semestre, os alunos podem se especializar e selecionar um dos campos de carreira oferecidos, listado abaixo:

- *Production technology develops complex processes, which make it possible to conduct cost-effective production with longterm, consistent quality – and at every scale: from individual tools to complete production plants.*
- *Design technology focuses on the optimization of products in mechanical engineering. The spectrum ranges from materials to industrial design.*

- *Energy and process engineering deal with the provision and transition of energy and materials. For example, crude oil is turned into cosmetics, biomass into fuel, wind power and sunlight into energy.*
- *Textile and plastics technology is dedicated to the manufacture and processing of plastics and textile materials. This is how, for example, technical building components are developed from fibers and products for living are made from plastics.*
- *The goal of transportation engineering is to optimize all methods of transport – from private vehicles to railcars to aircrafts.*

Ao final do bacharelado, o aluno pode ingressar em um dos programas de mestrado indicados no Quadro 28.

Quadro 28 - Programas de mestrado em engenharia oferecidos pela RWTH

| <i>Master's Degree Prospects</i> |
|--|
| <i>General Mechanical Engineering</i> |
| <i>Automation Engineering</i> |
| <i>Energy Engineering</i> |
| <i>Transportation Engineering and Means of Transport</i> |
| <i>Plastics and Textile Technology</i> |
| <i>Development and Construction</i> |
| <i>Aeronautical and Aerospace Technology</i> |
| <i>Production Technology</i> |
| <i>Process Technology</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

O Quadro 29 apresenta as disciplinas oferecidas no programa de mestrado em automação.

Quadro 29 - Matérias oferecidas no programa de mestrado em automação pela RWTH

| <i>Mechatronik</i> |
|---|
| Introdução à tecnologia de controle de processo |
| Sistemas embarcados |
| Tecnologia de controle superior |
| Sistemas Mecatrônicos I |
| Sistemas Mecatrônicos II |
| Automação de Processos de Estágios |
| Modelos de referência de tecnologia de controle |
| Laboratório de engenharia de controle |
| área de arredondamento |
| Introdução à engenharia de software |
| Dinâmica dos sistemas técnicos V |
| Engenharia de Computação |
| Especialização |
| Aplicação |
| Tese de Mestrado |

Fonte: elaborado pelo autor

6.2.9 National University of Singapore

A *National University of Singapore*, também conhecida como NUS, é uma universidade de grande reputação entre os centros tecnológicos asiáticos.

Founded in 1905 as a modest medical school with 23 students, NUS is today widely known for our innovative and rigorous education which has nurtured generations of leaders and luminaries across industries, professions and sectors in Singapore and beyond. Our singular focus on talent will be the cornerstone of a truly great university that is dedicated to quality education, influential research and visionary enterprise, in service of country and society. (NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE, 2019h, p.3)

Figura 31 - Características marcantes da NUS



Fonte: National University of Singapore (2019h, p.3)

O currículo de graduação NUS compreende 3 componentes: Requisitos de Nível Universitário (ULR), Requisitos de Programa e Módulos Eletivos sem Restrições (UEMs). A carga de trabalho é medida em termos de créditos modulares (MCs), onde cada MC é o equivalente a 2,5 horas de trabalho por semana. A NUS não possui um programa de bacharelado em engenharia mecatrônica. A mecatrônica é tratada como uma expansão da mecânica. A estrutura do curso pode ser vista na Figura 32.

Figura 32 - Estrutura Curricular do curso de engenharia da NUS

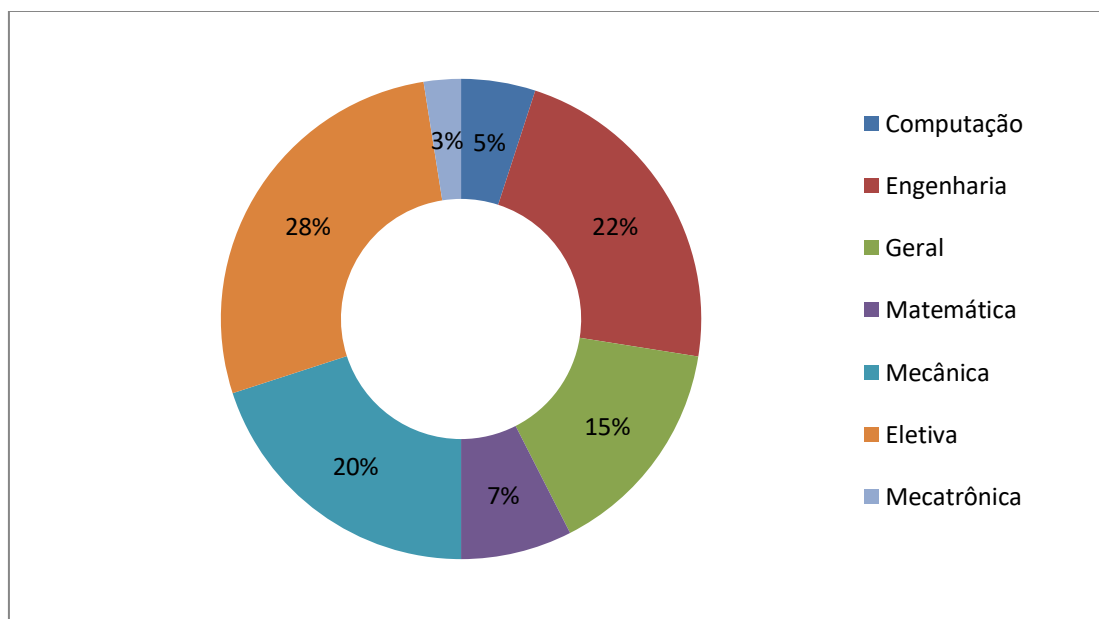
Engineering Undergraduate Curriculum Structure (Cohort AY2019/2020)

| University Level Requirements | Programme Requirements | | Unrestricted Elective Modules |
|---|---|--|--|
| General Education (GE): <ul style="list-style-type: none"> • 1 Human Cultures (GEH) • 1 Asking Questions (GEQ1000) • 1 Quantitative Reasoning (GER1000) • 1 Thinking and Expression (GET) • 1 Singapore Studies (GES) | Faculty Requirements: <p>Common Year 1 Modules:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ES1531 Critical Thinking & Writing = 4 MCs <p>Common Non-Year 1 Modules:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EG2401A Engineering Professionalism = 2 MCs | Major Requirements: <p>Foundational Requirements (36 MCs):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mathematics I & II - 8 MCs • Programming Methodology - 4 MCs • Engineering Principles & Practice I/II - 8 MCs • Design and Make - 4 MCs • Systems Thinking and Dynamics - 4 MCs • Introduction to Machine Learning - 4 MCs • Materials Engineering Principles & Practice - 4 MCs <p>Internship (10 MCs)</p> <p>ME Discipline Specific Mods (56MCs): (Mechanical Engineering modules):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Core modules = 28 MCs • Design Project <i>or</i> FYP = 8 MCs • ME elective modules = 12 MCs • Pathway Requirements = 8 MCs | <ul style="list-style-type: none"> • 32 MCs of Unrestricted Elective Modules (UEMs) |
| Sub-Total MCs = 20 | Sub-Total MCs = 6 | Sub-Total MCs = 102 | Sub-Total MCs = 32 |
| Minimum MCs required for graduation = 160 | | | |

Fonte: National University of Singapore (2019f)

Um possível programa para o bacharelado em engenharia mecânica seria estruturado da conforme Figura 33.

Figura 33 - Disposição curricular do curso de engenharia mecânica da NUS



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 34 - Disciplinas oferecidas no curso de engenharia mecânica da NUS

| Semester 1 | | MCs | Semester 2 | | MCs |
|--|---|-----------|---|--|------------|
| MA1505 | Mathematics I | 4 | MA1512 | Differential Equations for Engineering | 2 |
| CS1010E | Programming Methodology | 4 | MA1513 | Linear Algebra & Differential Equations | 2 |
| GER1000 | Quantitative Reasoning (GE 1 - QR) ¹ | 4 | EG1311 | Design and Make | 4 |
| ME1102 | Engineering Principles & Practice I | 4 | ME2104 | Engineering Principles & Practice II | 4 |
| Unrestricted Elective Module 1 ² | | 4 | GEQ1000 | Asking Questions (GE 2 – GEQ) ¹ | 4 |
| | | | GET | Thinking & Expression (GE 3) ¹ | 4 |
| Sub-total | | 20 | Sub-total | | 20 |
| Semester 3 | | MCs | Semester 4 | | MCs |
| MLE1010 | Materials Engineering Principles & Practice | 4 | IE2141 | Systems Thinking and Dynamics | 4 |
| EE2211 | Introduction to Machine Learning | 4 | ME2102 | Engineering Innovation and Modelling | 4 |
| ME2112 | Strength of Materials | 4 | ME2121 | Engineering Thermodynamics and Heat Transfer | 4 |
| ME2134 | Fluid Mechanics I | 4 | ME2115 | Mechanics of Machines | 4 |
| ME3162 | Manufacturing Processes | 4 | GE 4 ¹ | | 4 |
| ES1531 | Critical Thinking and Writing | 4 | Unrestricted Elective Module 2 ² | | 4 |
| Sub-total | | 24 | Sub-total | | 24 |
| Semester 5 | | MCs | Semester 6 | | MCs |
| EG3611A | Industrial Attachment | 10 | ME2142 | Feedback Control Systems | 4 |
| ME Technical Elective 1 | | 4 | EG2401A | Engineering Professionalism | 2 |
| ME Technical Elective 2 / Unrestricted Elective Module 3 | | 4 | ME Technical Elective 2 / Unrestricted Elective Module 3 ² | | 4 |
| | | | Unrestricted Elective Module 4 ² | | 4 |
| | | | Unrestricted Elective Module 5 ² | | 4 |
| | | | GE 5 ¹ | | 4 |
| Sub-total | | 18 | Sub-total | | 22 |
| Semester 7 | | MCs | Semester 8 | | MCs |
| ME3103 | Mechanical Systems Design OR | 4 | ME3103 | Mechanical Systems Design OR | 4 |
| ME4101A | B.Eng. Dissertation | 4 | ME4101A | B.Eng. Dissertation | 4 |
| Pathway Requirement 1 ⁴ | | 4 | Pathway Requirement 2 ⁴ | | 4 |
| ME Technical Elective 3 | | 4 | Unrestricted Elective Module 7 ² | | 4 |
| Unrestricted Elective Module 6 ² | | 4 | Unrestricted Elective Module 8 ² | | 4 |
| Sub-total | | 16 | Sub-total | | 16 |
| Total | | | | | 160 |

Fonte: National University of Singapore (2019d)

Existe uma grande liberdade para os estudantes escolherem as disciplinas de interesse em sua grade, as quais são listadas no Quadro 30.

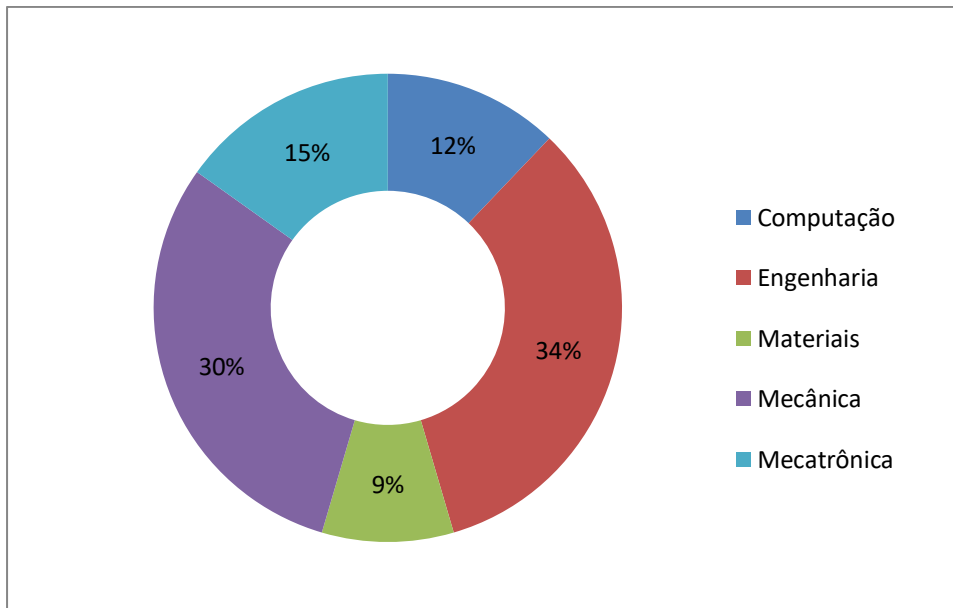
Quadro 30 - Disciplinas eletivas para estudantes de engenharia da NUS

| Disciplinas |
|--|
| <i>Mechanics of Material</i> |
| <i>Intermediate Fluid Mechanics</i> |
| <i>Sensors and Actuators</i> |
| <i>Independent Study I</i> |
| <i>Independent Study II</i> |
| <i>Heat Transfer</i> |
| <i>Mechanics of Solids</i> |
| <i>Sustainable Energy Conversion</i> |
| <i>Automation</i> |
| <i>Materials for Engineering</i> |
| <i>Computer-Aided Design and Manufacturing</i> |
| <i>Design for Manufacturing and Assembly</i> |
| <i>Microsystems Design and Applications</i> |
| <i>Numerical Methods in Engineering</i> |
| <i>Specialisation Study Module (Offshore Oil & Gas Technology)</i> |
| <i>Aircraft Structures</i> |
| <i>Vibration Theory and Applications</i> |
| <i>Thermal Environmental Engineering</i> |
| <i>Applied Heat Transfer</i> |
| <i>Energy and Thermal Systems</i> |
| <i>Internal Combustion Engines</i> |
| <i>Aerodynamics</i> |
| <i>Computational Methods in Fluid Mechanics</i> |
| <i>Aircraft Performance and Stability</i> |
| <i>Robot Mechanics and Control</i> |
| <i>Modern Control System</i> |
| <i>Biomaterials Engineering</i> |
| <i>Materials Failure</i> |
| <i>Functional Materials and Devices</i> |
| <i>Tool Engineering</i> |
| <i>Automation in Manufacturing</i> |
| <i>Fundamentals of Product Development</i> |
| <i>Finite Element Analysis</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

A configuração do curso pode ser assim vista na Figura 35.

Figura 35 - Disposição das disciplinas eletivas ofertadas pela NUS



Fonte: elaborado pelo autor

Do ponto de vista da mecatrônica, existe a possibilidade de o estudante concluir uma especialização em robótica. As disciplinas que devem ser cursadas são apresentadas no Quadro 31.

Quadro 31 - Matérias oferecidas na especialização em robótica pela NUS

| Especialização em Robótica |
|---|
| <i>Robotic System Design</i> |
| <i>Robot Mechanics and Control</i> |
| <i>Autonomous Robot Systems</i> |
| <i>Fuzzy/Neural Systems for Intelligent Robotics</i> |
| <i>Robot Perception</i> |
| <i>Robotics in Rehabilitation</i> |
| <i>Intelligent Medical Robotics</i> |
| <i>Human-Robot Interaction</i> |
| <i>Soft Robotics</i> |
| <i>Final year project (8MC) in the area of Robotics</i> |

Fonte: elaborado pelo autor

6.3 Análise estatística de Convergência do curso da EESC

Como foi dito anteriormente, a possibilidade do surgimento de um viés de confirmação poderia comprometer as conclusões do estudo. Para evitar esse possível problema, foi aplicada a metodologia apresentada na Figura 36.

Figura 36 - Metodologia de análise de comparação dos cursos investigados com o curso da EESC



Fonte: elaborado pelo autor

A seleção da estrutura do curso se deu de forma que os cursos analisados se tornassem mais semelhantes com os cursos brasileiros:

- Cursos europeus: Bacharelado e Mestrado
- Cursos americanos: *Major*, *Minor* e *Concentração*
- Cursos asiáticos: Bacharelado e Especialização

A compilação das disciplinas foi feita em tópicos anteriores, de forma que, na ausência de uma graduação em engenharia mecatrônica, o curso que atua no domínio da mecatrônica foi selecionado.

No que tange à classificação das disciplinas, 4 categorizações foram feitas, conforme

Quadro 32. Essa categorização se deu conforme a convergência de assuntos estudados nas matérias da EESC e nas universidades analisadas. São elas:

Quadro 32 - Escala de convergência

| |
|------------------------|
| Alta convergência - A |
| Média convergência - B |
| Baixa convergência - C |
| Menor convergência - D |

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados obtidos foram sintetizados no Quadro 33 e graficamente na Figura 37.

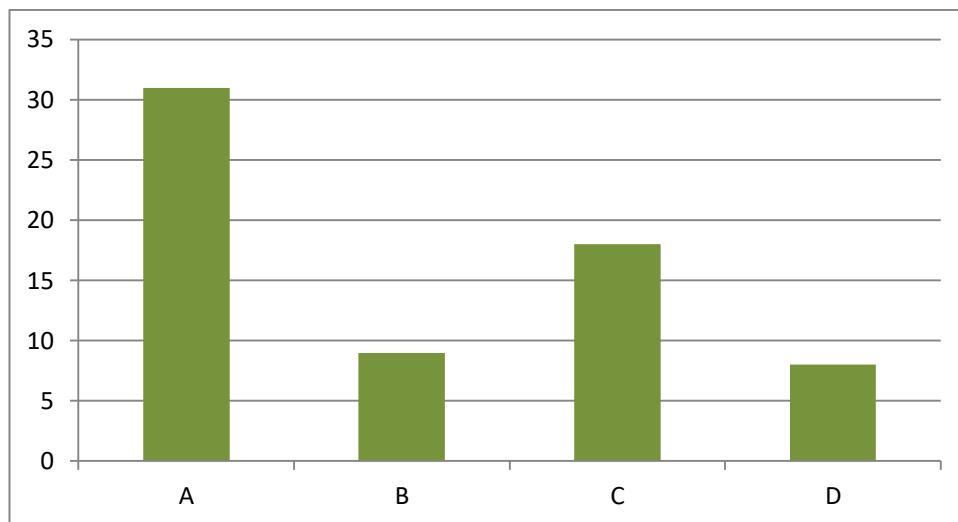
Quadro 33 - Classificação das matérias do curso de engenharia da EESC conforme a convergência

| Matérias EESC |
|---|
| Física I |
| Laboratório de Física Geral I |
| Introdução à Engenharia Mecatrônica |
| Desenho Técnico Mecânico I |
| Geometria Analítica |
| Cálculo I |
| Química Geral e Experimental |
| Introdução à Programação para Engenheiros |
| Física II |
| Laboratório de Física Geral II |
| Estática Aplicada às Máquinas |
| Problemas de Engenharia Mecatrônica I |
| Desenho Técnico Mecânico II |
| Tópicos em Computação |
| Práticas de Tópicos em Computação |
| Álgebra Linear |
| Cálculo II |
| Dinâmica Aplicada às Máquinas |
| Problemas de Engenharia Mecatrônica II |
| Mecânica dos Sólidos I |
| Cálculo III |
| Cálculo Numérico |
| Equações Diferenciais Ordinárias |
| Engenharia e Ciência dos Materiais I |
| Humanidades e Ciências Sociais |
| Eletricidade e Magnetismo |
| Mecanismos |
| Problemas de Engenharia Mecatrônica III |
| Mecânica dos Sólidos II |
| Cálculo IV |
| Estatística I |
| Engenharia e Ciência dos Materiais II |
| Princípios de Eletrônica |
| Introdução aos Sistemas Digitais I |

| |
|---|
| Termodinâmica I |
| Princípios de Metrologia Industrial |
| Problemas de Engenharia Mecatrônica IV |
| Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos I |
| Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas |
| Introdução à Organização de Computadores |
| Vibrações Mecânicas |
| Fundamentos da Mecânica dos Fluidos |
| Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos II |
| Sistemas de Controle I |
| Problemas de Engenharia Mecatrônica V |
| Processos de Fabricação |
| Práticas em Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos |
| Aplicação de Microprocessadores I |
| Eletricidade II |
| Sistemas de Controle II |
| Instrumentação e Sistemas de Medidas |
| Projeto de Sistemas Mecatrônicos I |
| Transferência de Calor e Massa |
| Gestão Ambiental para Engenheiros |
| Dinâmica e Controle de Sistemas Robóticos I |
| Interfaces Eletromecânicas |
| Elementos de Automação |
| Projeto de Sistemas Mecatrônicos II |
| Sistemas Térmicos e Fluídicos |
| Gestão e Organização |
| Princípios de Economia |
| Estágio Supervisionado |
| Trabalho de Conclusão de Curso I |
| Sistemas Embarcados |
| Trabalho de Conclusão de Curso II |
| Gerenciamento de Projetos |

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 37 - Gráfico referente a contagem de disciplinas classificadas conforme a convergência de disciplinas da EESC



Fonte: elaborado pelo autor

A classificação das disciplinas ocorreu segundo a seguinte regra: presença da disciplina ou de assuntos correlatos em disciplinas nas universidades investigadas. A contagem foi feita e os critérios elencados foram seguidos conforme explicado.

O preenchimento da cor verde em cada célula na coluna da universidade representa a convergência/presença da matéria na grade horária oferecida (Figura 38).

| Matérias EESC | Caltech | Delft | ETH | Georgia Tech | Harvard | MIT | HKU | RWTH | NUS |
|-----------------------------------|---------|-------|-----|--------------|---------|-----|-----|------|-----|
| Sistemas Térmicos e Fluidicos | | | | | | | | | |
| Gestão e Organização | | | | | | | | | |
| Princípios de Economia | | | | | | | | | |
| Estágio Supervisionado | | | | | | | | | |
| Trabalho de Conclusão de Curso I | | | | | | | | | |
| Sistemas Embarcados | | | | | | | | | |
| Trabalho de Conclusão de Curso II | | | | | | | | | |
| Gerenciamento de Projetos | | | | | | | | | |

Fonte: elaborado pelo autor

Ainda com o objetivo de posicionar o curso de engenharia mecatrônica da EESC frente aos cursos oferecidos nas universidades estudadas, pode-se realizar a análise das disciplinas contando sua eventual presença nos institutos, conforme Figura 39.

Figura 39 - Possibilidades de classificação enquanto presença nas universidades



Fonte: elaborado pelo autor

A contagem feita possibilita a construção de um gráfico onde é possível a visualização das seguintes métricas:

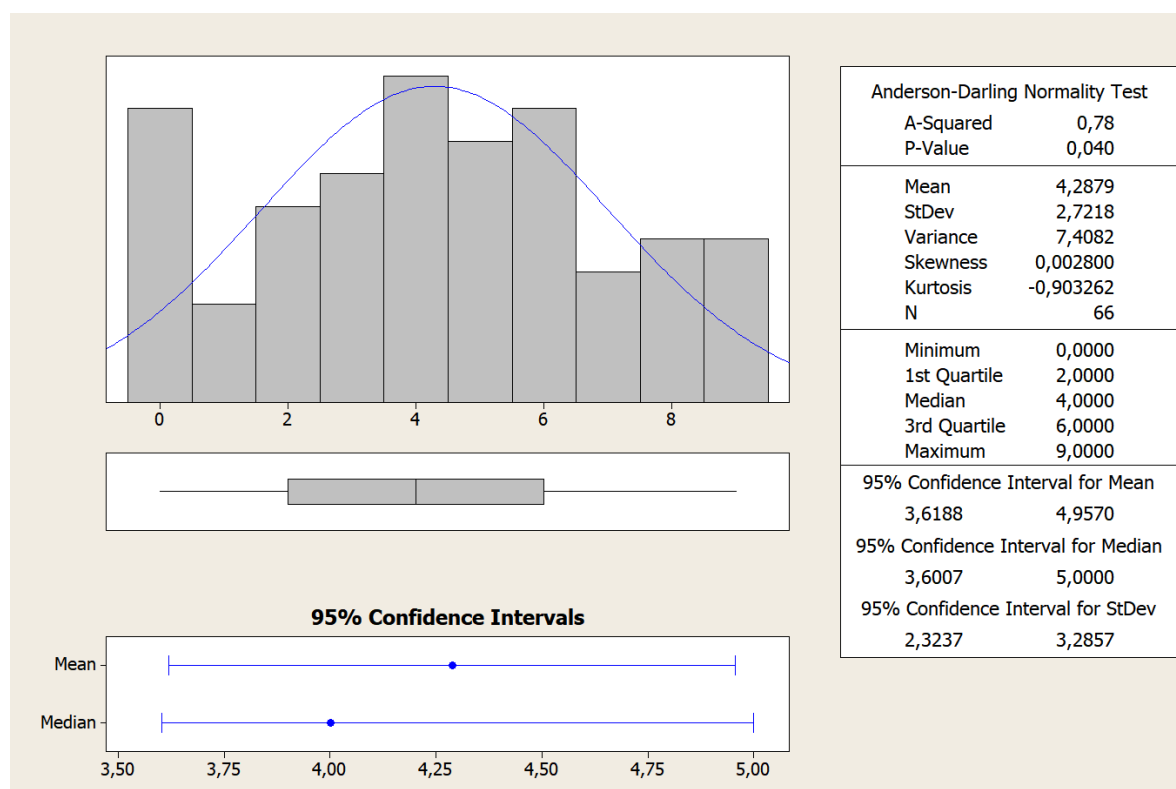
- Intervalo de confiança de 95% para extrapolação das universidades estudadas;
- Mediana dos valores obtidos;
- Média de posicionamento das matérias nas 9 universidades estudadas;
- Quartis dos valores obtidos;
- Teste de normalidade dos dados $[(P - Value) > (1-95\%) \rightarrow \text{normalidade}]$;
- Gráfico *boxplot*.

Para uma investigação mais precisa, outro gráfico foi elaborado, seguindo a mesma metodologia, porém sem pontos discrepantes. Entende-se por pontos discrepantes as

disciplinas cujas contagens de presença sejam 0 por motivos que estejam fora do escopo desse estudo, isto é, todas as matérias da grade de Problemas em Engenharia Mecatrônica.

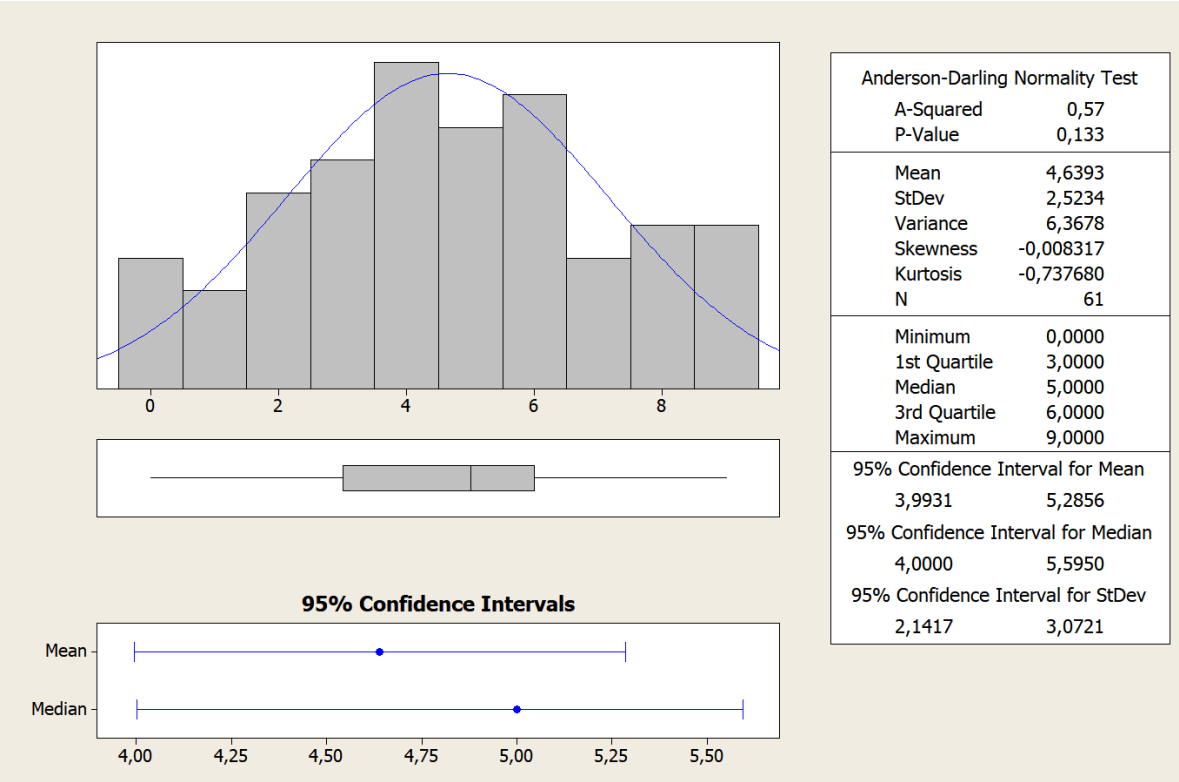
Um ponto a ser notado é que ao se retirar os pontos discrepantes da análise, a curva obtida no gráfico se torna uma curva normal e os dados, portanto, melhor comportados para eventuais testes. Ambos os gráficos (Figura 40 e Figura 41) foram feitos através do software *Minitab*, versão 16.

Figura 40 - Gráfico de convergência das matérias sem a exclusão dos pontos discrepantes



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 41 - Gráfico de convergência das matérias com a exclusão dos pontos discrepantes



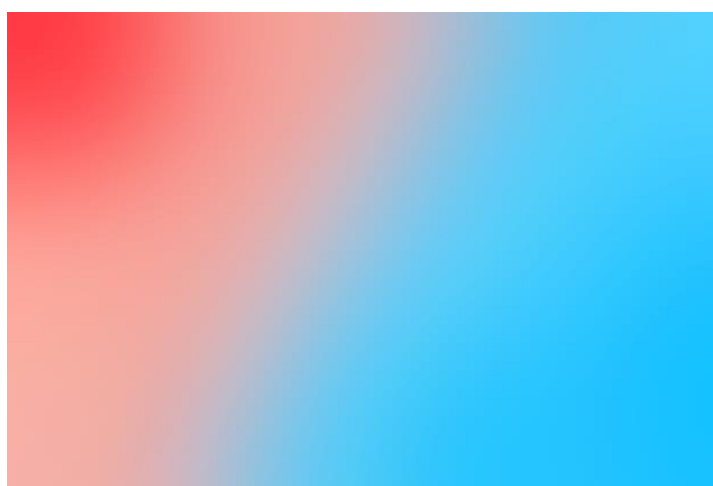
Fonte: elaborado pelo autor

7 PARALELOS: EESC X MUNDO

Os dados coletados e as pesquisas feitas permitem a identificação de paralelos importantes para os objetivos deste estudo.

O primeiro paralelo a ser traçado diz respeito ao que entendemos por engenharia mecatrônica. Uma metáfora interessante que pode ser feita é a de transição de cores. A título de experimento metal, imaginemos a transição de cores da Figura 42.

Figura 42 - Matéria de transição de cores



Fonte: Freepik Company S.L. (2019)

As cores em questão (vermelho e azul) possuem suas extremidades muito bem delimitadas. No entanto, a transição de um aspecto a seu oposto se torna confusa a medida que uma cor se transforma ou incorpora a outra. Qual o ponto que pode ser fixado onde começa e termina uma cor? Analogamente, podemos fazer o questionamento de qual o ponto que pode ser fixado onde começa a engenharia mecatrônica e termina a engenharia mecânica.

Pelo o que foi observado, assim como na metáfora da transição de cores, não existe esse ponto. A grade do curso de engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos pode ser considerada, qualitativamente e quantitativamente, a grade de um bacharelado em engenharia mecânica segundo a ótica das universidades analisadas.

A engenharia mecatrônica, consoante com as instituições investigadas, é um extrapolar da mecânica. Indo um pouco além, observou-se uma grande interdisciplinaridade a exemplo da biologia. A quarta revolução industrial se mostrou difusamente espalhada nas disciplinas oferecidas, na forma do estudos em manufatura aditiva, inteligência artificial, sistemas ciber-físicos e novos paradigmas em robótica e controle.

Outro confronto a ser posto diz respeito à estrutura dos cursos oferecidos. Em todas as escolas apuradas os cursos de bacharelado são menores e contemplam disciplinas mais gerais e basais para o desenvolvimento do engenheiro. O domínio da mecatrônica é tratado em especializações, *Minors* ou concentrações. Este fato levanta a seguinte dúvida: o que é essencial para a formação de um engenheiro, mais precisamente, um engenheiro mecatrônico?

A resposta a essa pergunta é complexa e exige uma reflexão profunda. Estatisticamente, poderíamos inferir que as disciplinas de maior incidência fazem parte da resposta a essa dúvida. Contudo, seria leviano não considerar a importância de disciplinas de menor incidência na formação do engenheiro, visto que os conhecimentos conversam entre si.

A presença de disciplinas de humanas foi significativamente maior nos cursos estudados. A grade horária em grande parte dos cursos credita a disciplinas como filosofia e sociologia como disciplinas fundamentais para o engenheiro. Em casos mais notáveis, o ensino de artes e de comunicação se tornam mandatórias para a formação dos estudantes.

Observou-se uma sólida formação em matemática, física, computação e disciplinas de base, como ciência dos materiais ou mecânica dos sólidos. Essa formação é, aparentemente, fundamental para todos os engenheiros do mundo.

As análises estatísticas demonstram que o curso da EESC se encontra alinhado aos grandes centros investigados. As disciplinas oferecidas pela EESC aparecem em média em 5 das universidades escolhidas.

8 PROPOSTA FINAL

Um dos objetivos do artigo é o de propor uma mudança na grade curricular das disciplinas oferecidas pelo curso de engenharia mecatrônica da EESC. Embora as estruturas dos cursos analisados diferenciem da estrutura do curso da EESC, mudanças podem ser implementadas a fim de alinhar a formação do engenheiro da EESC com a formação dos melhores centros acadêmicos do mundo. As comparações foram feitas resguardadas as semelhanças entre os cursos da mesma maneira que se sucedeu as comparações das análises estatísticas de convergência.

A Tabela 9 foi elaborada tomando como base as disciplinas que destoam entre os institutos analisados e a EESC.

Tabela 9 – Grau de Correlação entre a EESC e as Universidades analisadas

| Universidade | Grau Correlação | Aproximação |
|--------------|-----------------|---|
| Caltech | Alto | Controle, Oratória, Linguagem Científica |
| Delft | Alto | Controle, Filosofia |
| ETH | Médio | Indústria 4.0 |
| Georgia Tech | Médio | Controle, Economia, Industria 4.0 |
| Harvard | Alto | Indústria 4.0 |
| MIT | Médio | Controle, Humanidades, Sociologia, arte, Política |
| HKU | Alto | Política, Humanidades, Filosofia, Cultura |
| RWTH | Alto | Hardware, Controle |
| NUS | Médio | Indústria 4.0, Robótica, comunicação. |

Fonte: elaborado pelo autor

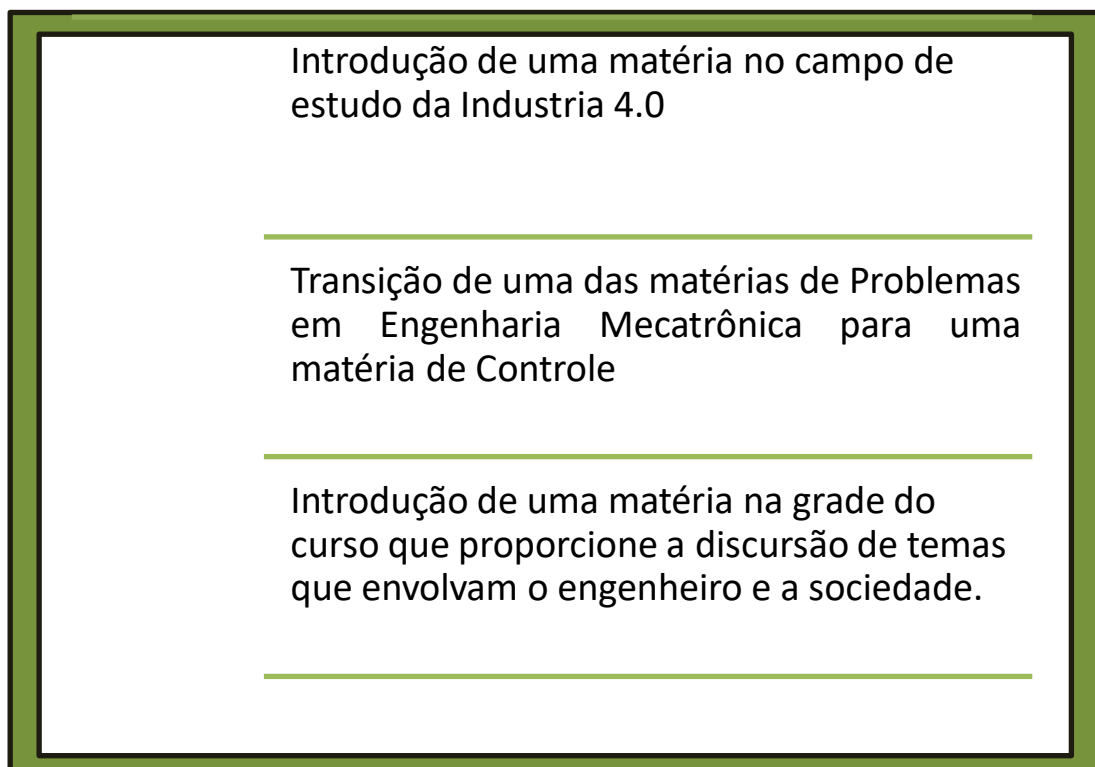
Na Tabela 9 a coluna “Aproximação” refere-se às áreas ofertadas pelas universidades analisadas que não são ofertadas ou são pouco ofertadas pela graduação da EESC. Em outras palavras, seriam as áreas que, caso fossem incluídas ou mais amplamente oferecidas, aproximariam a graduação da Escola de Engenharia de São Carlos das outras escolas de referência em ensino de engenharia do mundo.

Ainda na Tabela 9, o “Grau de Correlação” diz respeito à proximidade do curso da EESC frente às outras universidades. A classificação, a priori, se deu por Baixa, Médio e Alto Grau de Correlação. Entretanto, devido à alta interseção dos conteúdos estudados, a classificação foi dividida em Médio e Alto Grau de Correlação, uma vez que não foram observadas grandes discordâncias entre os cursos.

A área “Industria 4.0” refere-se ao campo de estudo de matérias plurais que vão desde Inteligência Artificial, Processamento de Dados ou outros campos de estudos correlatos ao termo.

De posse dessa análise, as sugestões de mudança são consolidadas na Figura 43.

Figura 43 - Propostas de implementação na grade curricular do curso de engenharia mecatrônica da EESC



Fonte: elaborado pelo autor

9 CONCLUSÃO

Avaliar a qualidade da formação de um engenheiro é uma tarefa complexa que pode vir carregada de subjetivismos que prejudicam a análise. Evidentemente que o engenheiro deve seguir as necessidades do ambiente que o cerca. Um exemplo carregado de didática poderia ser feito através da engenharia civil. Os desafios da engenharia civil no Japão, país sensível a abalos sísmicos, são diferentes dos desafios da engenharia civil no Brasil, cuja geografia é mais estável sob este ponto de vista. Analogamente, os desafios da engenharia mecatrônica brasileira seguem caminhos muitas vezes orientados pelos desafios da indústria nacional. A academia tem como um dos objetivos responder aos questionamentos e propostas tecnológicas da sociedade que a cerca.

A busca por uma metodologia quantitativa e objetiva para diagnosticar o curso oferecido pela EESC orientou grande parte do estudo. O apego a análises estatísticas possibilitou a prova e/ou refutação de algumas hipóteses fundamentais para os objetivos que esse estudo se propôs.

Uma das conclusões de maior relevância da pesquisa é a de que a graduação em engenharia mecatrônica da Escola de Engenharia de São Carlos, no presente momento, está alinhada com as maiores instituições de engenharia do mundo.

As mudanças propostas se guiaram não somente pela aproximação das disciplinas dos cursos investigados, mas também pela aproximação do engenheiro mecatrônica da EESC aos desafios dos novos paradigmas tecnológicos.

REFERÊNCIAS

BARRETO, C. R. M.; MENDES, J. S. R. O modelo europeu de educação superior definido pelo processo de Bolonha e seus reflexos na reestruturação da UFBA. In: VI Colóquio Internacional “Educação e Contemporaneidade”, 2012, São Cristovão. **Anais...** Disponível em: < http://educonse.com.br/2012/eixo_13/PDF/21.pdf> Acesso em: 5 jul. 2019.

BRADLEY, D.; RUSSELL, D.; FERGUSON, I.; ISAACS, J.; MACLEOD, A.; WHITE, R. The Internet of Things – The future or the end of mechatronics. **Mechatronics**, v. 27, 57-74, 2015.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio e Serviços. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0: O Brasil preparado para os desafios do futuro**. 2019. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>> Acesso em: 05 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **2017-2018 Catalog**. 2019a. Disponível em: <http://catalog.caltech.edu/archive/1718?fbclid=IwAR0zs7fhYn9EDplWhErgnrjYnDS2RUUL7OQztKYyKWnUc_baVOZlb51MSKk> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **2018 - 2019 Courses**. 2019b. Disponível em: < <http://catalog.caltech.edu/current/courses>> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Department of Mechanical and Civil **Engineering. Fall Term 2019-2020**. 2019c. Disponível em: <http://www.mce.caltech.edu/academics/course_schedule> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Department of Mechanical and Civil Engineering. **Undergraduate Major in Mechanical Engineering**. 2019d. Disponível em: < <http://www.mce.caltech.edu/academics/ugrad>> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Division of Engineering and Applied Science**. 2019e. Disponível em: < <http://www.eas.caltech.edu/>> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Graduate Studies Office: Academics**. 2019f. Disponível em: <<http://www.gradoffice.caltech.edu/academics>> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Office of the Registrar. **Course schedule: SP 2018-19**. 2019g. Disponível em: <<http://schedules.caltech.edu/SP2018-19.html>> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Office of the Registrar. **Courses: Course schedules**. 2019h. Disponível em: <<http://www.registrar.caltech.edu/courses>> Acesso em: 02 jul. 2019.

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Undergraduate Admissions: Options (Majors)**. 2019i. Disponível em: <<http://www.admissions.caltech.edu/explore/academics/options-majors>> Acesso em: 02 jul. 2019.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **Admission requirements.** 2019a. Disponível em: <<https://www.tudelft.nl/en/education/programmes/bachelors/wb/bsc-mechanical-engineering/admission-requirements/>> Acesso em: 06 jul. 2019.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **Bacheloropleiding Werktuigbouwkunde 2018-2019.** 2019b. Disponível em: <https://d1rkab7tlqy5f1.cloudfront.net/Studentenportal/Faculteitspecifiek/3ME/Onderwijs/Bachelor/20180612%2020180516%20Modulekaart_BSc-Wb-2018-2019.pdf> Acesso em: 06 jul. 2019.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **Curriculum.** 2019c. Disponível em: <<https://www.tudelft.nl/en/education/programmes/bachelors/wb/bsc-mechanical-engineering/curriculum/>> Acesso em: 06 jul. 2019.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. 2019d. Disponível em: <https://studiegids.tudelft.nl/a101_displayProgram.do?program_tree_id=21857> Acesso em: 06 jul. 2019.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **MSc programme:** Curriculum Opto-Mechatronics. 2019e. Disponível em: <<https://www.tudelft.nl/en/education/programmes/masters/mechanical-engineering/msc-mechanical-engineering/track-overview/track-opto-mechatronics/msc-programme/>> Acesso em: 06 jul. 2019.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **MSc Systems & Control.** 2019f. Disponível em: <<https://www.tudelft.nl/en/education/programmes/masters/systems-control/msc-systems-control/>> Acesso em: 06 jul. 2019.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. **Program overview.** 2019g. Disponível em: <https://studiegids.tudelft.nl/file/program.pdf?program_id=21147> Acesso em: 06 jul. 2019.

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING. The University of Hong Kong. **Teaching Areas.** 2019. Disponível em: <<http://me.hku.hk/index.php?tpl=essay&id=95>> Acesso em: 10 jul. 2019.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. **Bachelor Mechanical Engineering.** 2019a. Disponível em: <<https://ethz.ch/en/studies/prospective-bachelors-degree-students/bachelors-degree-programmes/engineering-sciences/mechanical-engineering.html>> Acesso em: 05 jul. 2019.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. Department of Mechanical and Process Engineering. **Bachelor in Mechanical Engineering.** 2019b. Disponível em: <<https://mavt.ethz.ch/studies/bachelor.html>> Acesso em: 05 jul. 2019.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. **Master Robotics, Systems and Control.** 2019c. Disponível em: <<https://ethz.ch/en/studies/prospective-masters-degree-students/masters-degree-programmes/engineering-sciences/master-robotics-systems-and-control.html>> Acesso em: 05 jul. 2019.

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH. Student Services. **Study Programmes**. Zurich, 2018. Disponível em: <<https://ethz.ch/content/dam/ethz/main/education/bachelor/studiengaenge/files/ETH-Zurich-Study-Programmes.pdf>> Acesso em: 05 jul. 2019.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Matrizes Curriculares dos Cursos de Graduação**. 2019. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/portaleesc/index.php?option=com_content&view=article&id=151&Itemid=169> Acesso em: 27 jun. 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **The Bologna process and the european higher education area**. 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/education/policies/higher-education/bologna-process-and-european-higher-education-area_en> Acesso em: 05 jul. 2019.

FACULTY OF ENGINEERING. The University of Hong Kong. 2019a. Disponível em: <<https://engg.hku.hk/>> Acesso em: 10 jul. 2019.

FACULTY OF ENGINEERING. The University of Hong Kong. **Academic Programmes**. 2019b. Disponível em: <<https://engg.hku.hk/Teaching-Learning/BEng/Academic-Programmes>> Acesso em: 10 jul. 2019.

FACULTY OF ENGINEERING. The University of Hong Kong. **Departmental Research Focus**. 2019c. Disponível em: <<https://engg.hku.hk/Research/Departmental-Research-Focus>> Acesso em: 10 jul. 2019.

FACULTY OF ENGINEERING. The University of Hong Kong. **Major Minor Options: Minor Options offered by the Faculty of Engineering**. 2019d. Disponível em: <<https://engg.hku.hk/Teaching-Learning/BEng/Academic-Programmes/Major-Minor-Options>> Acesso em: 10 jul. 2019.

FACULTY OF ENGINEERING. The University of Hong Kong. **Overview of HKU Engineering Programmes**. 2019e. Disponível em: <<https://www.ugadmissions.engg.hku.hk/overview-of-beng-programmes>> Acesso em: 10 jul. 2019.

FACULTY OF ENGINEERING. The University of Hong Kong. **Regulations & Syllabuses**. 2019f. Disponível em: <<https://engg.hku.hk/Teaching-Learning/BEng/Academic-Programmes/Regulations-Syllabuses>> Acesso em: 10 jul. 2019.

FREEPIK COMPANY S.L. 2019. Disponível em: <https://br.freepik.com/fotos-gratis/transicao-suave-de-azul-e-vermelho_1526586.htm> Acesso em: 15 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Bachelor of Science in Industrial Engineering**. 2019a. Disponível em: <<http://catalog.gatech.edu/programs/industrial-engineering-bs/#concentrationtext>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Bachelor of Science in Mechanical Engineering**. 2019b. Disponível em: <<http://catalog.gatech.edu/programs/mechanical-engineering-bs/#concentrationtext>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Bachelor's Degrees and Minors**. 2019c. Disponível em: <<https://www.gatech.edu/academics/bachelors-degree-programs>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Industrial Engineering (BS)**. 2019d. Disponível em: <<https://www.gatech.edu/academics/degrees/bachelors/industrial-engineering-bs>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Mechanical Engineering (BS)**. 2019e. Disponível em: <<https://www.gatech.edu/academics/degrees/bachelors/mechanical-engineering-bs>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Minor in Robotics**. 2019f. Disponível em: <<http://catalog.gatech.edu/programs/minor-robotics/>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Projected Course Schedules**. 2019g. Disponível em: <<https://math.gatech.edu/projected-course-schedules>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Robotics (Minor)**. 2019h. Disponível em: <<https://www.gatech.edu/academics/degrees/bachelors/robotics-minor>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **School of Electrical and Computer Engineering: Projected Schedule of Undergraduate Courses**. 2018. Disponível em: <https://www.ece.gatech.edu/sites/default/files/documents/undergrad/course_schedule.pdf> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Plan of Study for the Mechanical Engineering SB Concentration: Effective for Students Declaring the Concentration after July 1, 2018**. 2018. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/sites/default/files/files/Engineering/ME-SB-Mechanical.pdf>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Courses**. 2019. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/academics/courses>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Mechanical engineering research ranges from fundamental work in solid and fluid mechanics to diverse studies in materials, mechanical systems, and biomechanics**. 2019a. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/materials-science-mechanical-engineering>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. 2019b. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Engineering @ SEAS: Engineers solve real-world problems by applying math and science for analysis and design**. 2019c. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/sites/default/files/files/Engineering/EngineeringGuidebook.pdf>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Engineering**. 2019d. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/engineering>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Graduate Programs**. 2019e. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/academics/graduate>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Mechanical engineering**. 2019f. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/programs/engineering/mechanical-engineering>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Research Interests**. 2019g. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/faculty-research/research>> Acesso em: 02 jul. 2019.

HARVARD JOHN A. PAULSON. School of Engineering and Applied Sciences. **Undergraduate Program in Mechanical Engineering (S.B.)**. 2019h. Disponível em: <<https://www.seas.harvard.edu/programs/mechanical-engineering>> Acesso em: 02 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Meche Undergraduate Office. **GAMED - Getting Around the Mechanical Engineering Department**. 2017. Disponível em: <<http://web.mit.edu/me-ugoffice/gamed.pdf>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Department of Mechanical Engineering. 2019a. Disponível em: <<http://meche.mit.edu/>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. 2019b. Disponível em: <<http://www.mit.edu/>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Course 2: Mechanical Engineering - Fall 2019**: First-Year Introductory Subjects. 2019c. Disponível em: <<http://student.mit.edu/catalog/m2a.html>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Course 2: Mechanical Engineering - Fall 2019**: Fluid Mechanics and Combustion. 2019d. Disponível em: <<http://student.mit.edu/catalog/m2b.html>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Course 2: Mechanical Engineering - Fall 2019**: Manufacturing. 2019e. Disponível em: <<http://student.mit.edu/catalog/m2c.html>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Departments**. 2019f. Disponível em: <<http://www.mit.edu/education/schools-and-departments/>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **MIT Bulletin 2018-2019** – Degree Charts - Mechanical Engineering (Course 2). 2019g. Disponível em: <<http://catalog.mit.edu/degree-charts/mechanical-engineering-course-2/>> Acesso em: 01 jul. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **MIT Subject Listing & Schedule - Fall 2019**. 2019h. Disponível em: <<http://student.mit.edu/catalog/index.cgi>> Acesso em: 01 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. 2019a. Disponível em: <<http://nus.edu.sg/about>> Acesso em: 11 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Department of Mechanical Engineering. **Curriculum**. 2019b. Disponível em: <<https://www.eng.nus.edu.sg/me/undergraduate/beng-me/curriculum/>> Acesso em: 11 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Department of Mechanical Engineering. **Modules**. 2019c. Disponível em: <<https://www.eng.nus.edu.sg/me/undergraduate/beng-me/modules/>> Acesso em: 11 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Department of Mechanical Engineering. **Summary of ME Modular Requirements and Credits** (For student matriculating from AY19/20 onwards). 2019d. Disponível em: <https://www.eng.nus.edu.sg/wp-content/uploads/sites/10/2019/07/Sample-Schedule-AY1920_NUS-ME_11072019.pdf> Acesso em: 11 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Department of Mechanical Engineering. **Timetables**. 2019e. Disponível em: <<https://www.eng.nus.edu.sg/me/undergraduate/beng-me/timetables/>> Acesso em: 11 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Faculty of Engineering. Department of Mechanical Engineering. **Engineering Undergraduate Curriculum Structure** (Cohort AY2019/2020). 2019f. Disponível em: <https://www.eng.nus.edu.sg/wp-content/uploads/sites/10/2019/07/Curriculum-Structure-AY1920_rev10072019.pdf> Acesso em: 11 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. **Office of Admissions**. Undergraduate Programmes in NUS. 2019g. Disponível em: <<http://www.nus.edu.sg/oam/undergraduate-programmes>> Acesso em: 11 jul. 2019.

NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. Office of University Communications. **Welcome to NUS**. 2019h. Disponível em: <<http://nus.edu.sg/images/resources/content/about/welcome-to-nus.pdf>> Acesso em: 11 jul. 2019.

OKA, M. M. **História do Transistor - Versão 1.0** (Nov. 2000). 2000. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDoTransistor.pdf>> Acesso em: 02 ago. 2019.

QS QUACQUARELLI SYMONDS LIMITED. **QS Top Universities - Engineering - Mechanical, Aeronautical & Manufacturing**. 2019a. Disponível em: <<https://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2019/engineering-mechanical>> Acesso em: 27 jun. 2019.

QS QUACQUARELLI SYMONDS LIMITED. **QS Top Universities - Engineering and Technology**. 2019b. Disponível em: <<https://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2019/engineering-technology>> Acesso em: 26 jun. 2019.

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. 2019a. Disponível em: <<https://www.rwth-aachen.de/cms/~a/root/lidx/1/>> Acesso em: 08 jul. 2019.

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. **Automation Engineering M.Sc.** 2019b. Disponível em: <<https://www.rwth-aachen.de/go/id/bjtg?lidx=1#aaaaaaaaabjth>> Acesso em: 08 jul. 2019.

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. **Before Your Studies.** 2019c. Disponível em: <<https://www.rwth-aachen.de/cms/~a/root/lidx/1/>> Acesso em: 08 jul. 2019.

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. **Courses of Study.** 2019d. Disponível em: <<https://www.rwth-aachen.de/cms/root/Studium/Vor-dem-Studium/~efv/Studiengaenge/lidx/1/>> Acesso em: 08 jul. 2019.

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. **Current Courses of Study.** 2019e. Disponível em: <[RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. Fakultät für Maschinenwesen. **Masterstudiengang Automatisierungstechnik an der RWTH Aachen University.** 2019f. Disponível em: <\[http://www.maschinenbau.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaakwfa\]\(http://www.maschinenbau.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaakwfa\)> Acesso em: 08 jul. 2019.](https://www.rwth-aachen.de/cms/root/Studium/Vor-dem-Studium/Studiengaenge/~yev/Liste-Aktuelle-Studiengaenge/lidx/1/?search=&aaaaaaaaaaaafs=&aaaaaaaaaaaafu=&aaaaaaaaaaaafv=&aaaaaaaaaaaafx=&aaaaaaaaaaaafy=&aaaaaaaaaaaagc=&aaaaaaaaaaaagd=&aaaaaaaaaaaoot=&aaaaaaaaaaaou=&aaaaaaaaaaaoy=&aaaaaaaaaaaqx=&aaaaaaaaaaaaru=&aaaaaaaaaaaaum=&aaaaaaaaaaaabh=>https://www.rwth-aachen.de/cms/root/Studium/Vor-dem-Studium/Studiengaenge/~yev/Liste-Aktuelle-Studiengaenge/lidx/1/?search=&aaaaaaaaaaaafs=&aaaaaaaaaaaafu=&aaaaaaaaaaaafv=&aaaaaaaaaaaafx=&aaaaaaaaaaaafy=&aaaaaaaaaaaagc=&aaaaaaaaaaaagd=&aaaaaaaaaaaoot=&aaaaaaaaaaaou=&aaaaaaaaaaaoy=&aaaaaaaaaaaqx=&aaaaaaaaaaaaru=&aaaaaaaaaaaaum=&aaaaaaaaaaaabh=> Acesso em: 08 jul. 2019.</p>
</div>
<div data-bbox=)

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. Faculty of Mechanical Engineering. **Curriculum Plans.** 2019g. Disponível em: <<http://www.maschinenbau.rwth-aachen.de/cms/Maschinenbau/Studium/Downloads/Im-Studium/Master/~firi/Studienplaene/?lidx=1>> Acesso em: 08 jul. 2019.

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. Institut für Regelungstechnik. **Masterstudiengang Automatisierungstechnik.** 2019h. Disponível em: <<http://www.irt.rwth-aachen.de/cms/IRT/Studium/~nefo/Masterstudiengang-Automatisierungstechni/>> Acesso em: 08 jul. 2019.

RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN - RWTH AACHEN UNIVERSITY. **Mechanical Engineering B.Sc.** 2019i. Disponível em: <<https://www.rwth-aachen.de/go/id/bnev?lidx=1#aaaaaaaaaabnew>> Acesso em: 08 jul. 2019.

SALGADO, D. Rankings internacionais de universidades precisam ser lidos de forma crítica, explica especialista. **Época**. 2019. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/rankings-internacionais-de-universidades-precisam-ser-lidos-de-forma-critica-explica-especialista-23675416>> Acesso em: 26 jun. 2019.

SHANGHAI RANKING CONSULTANCY. **Classificação Acadêmica das Universidades Mundiais**. 2015. Disponível em: <<http://www.shanghairanking.com/pt/aboutarwu.html>> Acesso em: 26 jun. 2019.

SHANGHAI RANKING CONSULTANCY. **Academic Ranking of World Universities 2018**. 2019a. Disponível em: <<http://www.shanghairanking.com/ARWU2018.html>> Acesso em: 26 jun. 2019.

SHANGHAI RANKING CONSULTANCY. **Classificação Acadêmica de Universidades Mundiais em Engenharia - Tecnologia e Ciência da Computação**: 2015. 2015. 2019b. Disponível em: <<http://www.shanghairanking.com/pt/FieldENG2015.html>> Acesso em: 26 jun. 2019.

SHANGHAI RANKING CONSULTANCY. **Global Ranking of Academic Subjects 2019**. 2019c. Disponível em: <<http://www.shanghairanking.com/Shanghairanking-Subject-Rankings/index.html>> Acesso em: 27 jun. 2019.

SHANGHAI RANKING CONSULTANCY. **Shanghai Ranking's Global Ranking of Academic Subjects 2019 - Automation & Control**. 2019d. Disponível em: <<http://www.shanghairanking.com/Shanghairanking-Subject-Rankings/automation-control.html>> Acesso em: 27 jun. 2019.

SUPERINTENDÊNCIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO / UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Grade curricular – Curso engenharia de computação**. 2019a. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/listarGradeCurricular?codcg=97&codcur=97001&codhab=0&tipo=N>> Acesso em: 27 jun. 2019.

SUPERINTENDÊNCIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO / UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Grade curricular – Curso engenharia elétrica**. 2019b. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/listarGradeCurricular?codcg=18&codcur=18050&codhab=0&tipo=N>> Acesso em: 27 jun. 2019.

SUPERINTENDÊNCIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO / UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Grade curricular – Curso engenharia mecatrônica**. 2019c. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/listarGradeCurricular?codcg=18&codcur=18250&codhab=0&tipo=N>> Acesso em: 27 jun. 2019.

THE GEORGE W. WOODRUFF School of Engineering and Applied Sciences. **Concentrations**. 2019a. Disponível em: <<https://www.me.gatech.edu/undergraduate/ug-curr/concentrations>> Acesso em: 02 jul. 2019.

THE GEORGE W. WOODRUFF SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING. **Mechanical Engineering Curriculum**. 2019b. Disponível em: <<https://www.me.gatech.edu/undergraduate/ug-curr>> Acesso em: 02 jul. 2019.

THE GEORGE W. WOODRUFF SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING. **Woodruff School of Mechanical Engineering (2018-19 Catalog Year)**. 2019c. Disponível em: <http://www.me.gatech.edu/files/ug/cert_minor.pdf> Acesso em: 02 jul. 2019.

THE INSIGHTS CONNECTIVITY HIRING. **Times higher education**. 2019. Disponível em: <<https://www.timeshighereducation.com/about-us>> Acesso em: 26 jun. 2019.

THE UNIVERSITY OF HONG KONG. **A Transformative Undergraduate Curriculum**. 2014. Disponível em: <<https://tl.hku.hk/wp-content/uploads/2014/11/cr-2014nov-web.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2019.

THE UNIVERSITY OF HONG KONG. 2019a. Disponível em: <<https://www.hku.hk/>> Acesso em: 10 jul. 2019.

THE UNIVERSITY OF HONG KONG. **Common Learning Experiences**. 2019b. Disponível em: <<https://tl.hku.hk/common-learning-experiences/>> Acesso em: 10 jul. 2019.

THE UNIVERSITY OF HONG KONG. **Introducing the Common Core @ HKU**. 2019c. Disponível em: <<https://commoncore.hku.hk/introduction/>> Acesso em: 10 jul. 2019.

THE UNIVERSITY OF HONG KONG. **Scientific and Technological Literacy**. 2019d. Disponível em: <<http://commoncore.hku.hk/scientific-and-technological-literacy/>> Acesso em: 10 jul. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. **World University Rankings 2019: methodology** - We are careful and consistent in our approach to collecting and evaluating data for the World University Rankings. Here we explain how we handle the data to position more than 1,200 institutions worldwide. 2018. Disponível em: <<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/methodology-world-university-rankings-2019>> Acesso em: 26 jun. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. 2019a. Disponível em: <<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings>> Acesso em: 26 jun. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. **Explore university impact rankings for individual SDGs**. 2019b. Disponível em: <https://www.timeshighereducation.com/rankings/impact/2019/overall#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/undefined> Acesso em: 26 jun. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. **THE University Impact Rankings 2019: methodology**. Here, we explain how we arrived at the results. 2019c. Disponível em: <<https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/methodology-impact-rankings-2019>> Acesso em: 26 jun. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. **THE University Impact Rankings 2019: results announced: University of Auckland tops first global ranking to measure institutions' social and economic impact**. 2019d. Disponível em: <<https://www.timeshighereducation.com/news/university-impact-rankings-2019-results-announced>> Acesso em: 26 jun. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. **World University Rankings 2019**. 2019e. Disponível em: <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2019/world-ranking#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats> Acesso em: 27 jun. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. **World University Rankings 2019**. 2019f. Disponível em: <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2019/world-ranking#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/scores> Acesso em: 27 jun. 2019.

THE WORLD UNIVERSITY RANKINGS. **World University Rankings 2019**. 2019g. Disponível em: <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2019/world-ranking#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats> Acesso em: 26 jun. 2019.

TOMIZUKA, M. Mechatronics: from the 20th to 21st century. **Control Engineering Practice**, v. 10, 8, p. 877-886, 2002.

WIKIPÉDIA. **Ranking de Xangai**. 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ranking_de_Xangai> Acesso em: 26 jun. 2019.