UNIVERSIDADE D
COIMBRA

VICTOR HUGO FERREIRA PINHEIRO

PROPOSTA DE UM NOVO PRODUTO PARA UMA FÁBRICA DE APRENDIZAGEM DE UM LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo Professor Doutor Cristóvão Silva, apresentada à Faculdade de Ciência e tecnologia da Universidade de Coimbra no Departamento de Engenharia de Engenharia Mecânica.

Novembro de 2020

• U C • FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Proposta de um novo produto para uma Fábrica de Aprendizagem de um laboratório de Engenharia e Gestão Industrial

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Proposal of a product to be used in a Learning Factory of an Industrial Engineering laboratory

Autor
Victor Hugo Ferreira Pinheiro
Orientador
Professor Doutor Cristóvão Silva

Júri

Presidente	**Professor Doutor Luís Miguel Ferreira** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**
Vogais	**Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz** **Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viseu** **Professor Doutor Cristóvão Silva** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**
Orientador	**Professor Doutor Cristóvão Silva** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**

Coimbra, Novembro, 2020

“A educação é a arma mais poderosa que
você pode usar para mudar o mundo”
(Nelson Mandela)

Agradecimentos

Agradeço acima de tudo a Deus por me conceder saúde para que eu pudesse realizar mais este sonho. Agradeço a ele também por me guiar em todos os momentos de dificuldade durante toda minha trajetória acadêmica.

Agradeço aos meus pais, Leida Pinheiro e Carlos Pinheiro, pela dádiva da vida e por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões, assim como meu irmão Carlos Henrique Pinheiro meu melhor amigo e confidente**,** vocês são os meus maiores exemplos.

Ao meu orientador Professor Doutor Cristóvão Silva por todo direcionamento dado durante a elaboração deste trabalho, estes sem duvida foram cruciais para a conclusão deste projeto.

À todos os Professores Doutores do curso de Engenharia e Gestão Industrial, a vocês eu agradeço por cada direcionamento e cobrança durante estes dois anos, todos eles me engrandeceram em todos os aspectos possíveis.

Por ultimo, porém não menos importante, agradeço aos meus colegas que estiveram comigo durante este período, a colaboração de todos nos períodos difíceis e a participação nos tempos de descontração.

À todos, o meu sincero agradecimento

Resumo

O processo de ensino em universidades ao redor do mundo por muitas vezes é considerado maçante no que diz respeito à forma de transmitir conteúdo para os discentes. De outra forma, outros alunos possuem a característica de absorver conteúdo quanto lhe é ensinado na prática, assim como o conceito *Learning by Doing*. Sendo assim, o conceito de Fábrica de Aprendizagem surge com a proposta de transmitir técnicas e métodos ensinados em salas de aula de forma mais aplicada, simulando o ambiente desejado, como linhas de montagem, por exemplo. Este conceito oferece, do ponto de vista académico, a oportunidade dos alunos observarem a técnica de perspetivas aplicada e, no contexto industrial, as Fábricas de Aprendizagem oferecem ao operador a conveniência do erro em ambiente controlado.

Este trabalho, após realizar uma análise comparativa referente a Fábrica de Aprendizagem denominada Lab-EGI incorporada nas dependências do laboratório de Engenharia e Gestão Industrial presente no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra e outros laboratórios tidos como referencia ao redor do mundo, foi constatado a inferioridade do produto montado no Lab-EGI em relação aos produtos montados nas outras Fábricas de Aprendizagem. Com isso, este trabalho objetivou a proposição de um novo produto que possuísse maior complexidade de montagem, e alguma aplicação no ambiente real. Após a escolha do produto titulado como Dispensador de Fita, focou-se em determinar qual seria a melhor sequência de montagem para o produto.

Os resultados obtidos mostram que, baseado nos tempos médios acumulados de montagem nos três postos de trabalho, assim como nos tempos médios por posto de trabalho, a proposta mais viável para a realidade da Fábrica de Aprendizagem do Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial foi a proposta II.

Palavras-chave: Fábrica de Aprendizagem, Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial, Novo produto.

Abstract

The teaching process at universities around the world is often considered dull in terms of how to transmit content to students. Otherwise, other students have the characteristic of absorbing content when it is taught in practice, as well as the Learning by Doing concept. Therefore, the concept of the Learning Factory appears with the proposal to transmit techniques and methods taught in classrooms in a more applied way, simulating the desired environment, such as assembly lines for example. This concept offers, from an academic point of view, the opportunity for students to observe the technique of applied perspectives and, in the industrial context, the Learning Factories offers the operator the convenience of error in a controlled environment.

This work, after performing a comparative analysis referring to the Lab-EGI denamed laboratory incorporated on the premises of the Engineering and Industrial Management laboratory present in the Mechanical Engineering Department of the University of Coimbra and other laboratories considered as references around the world, was found the inferiority of the product assembled at Lab-EGI in relation to the products assembled at other Learning Factories. With this, this work aimed at proposing a new product that would have greater complexity of assembly, and some application in the real environment. After choosing the product titled as a Tape Dispenser, he focused on determining which would be the best assembly sequence for the product.

The results obtained show that, based on the accumulated average assembly times in the three work stations, as well as the average times per work stage, the most viable proposal for the reality of the Learning Factory of the Engineering and Industrial Management Laboratory was the proposal II.

Keywords: Learning Factory, Engineering and Industrial Management Laboratory, New Product.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS xi

ÍNDICE DE TABELAS xiii

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. Motivação 2

1.1. Objetivo Geral 3

1.2. Método de pesquisa 3

1.3. Estrutura da dissertação 4

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7

2.1. Enquadramento da pesquisa 7

2.2. Aprendizagem 8

2.2.1. Estratégias de aprendizagem 9

2.2.2. Learning by doing 11

2.2.2.1. O cone de Dale 12

2.2.3. Aprendizagem com jogos 13

2.2.3.1. Serious game 14

2.3. Fábricas de aprendizagem 15

2.3.1. Concepção histórica 15

2.3.2. Conceito e cenário atual 16

2.3.2.1. Lean Production System (LPS) – Learning Factory 18

2.3.2.2. Learning Factory – Process Improvement (LPI) 19

2.3.2.3. Learning Factory – Resource Efficiency (LRE) 21

2.3.2.4. Learning Factory – Management and Organization (LMO) 22

2.3.3. Variedade de fábricas de aprendizagem 23

2.3.4. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem 25

2.3.4.1. Modelo Operacional 26

2.3.4.2. Objetivos e metas 27

2.3.4.3. Processo 27

2.3.4.4. Cenário 28

2.3.4.5. Produto 29

2.3.4.6. Didática 30

2.3.4.7. Métricas 31

2.3.5. O limite das Fábricas de Aprendizagem 32

2.3.6. O futuro das fábricas de aprendizagem 34

2.4. Indústria 4.0 34

2.4.1. Concepção histórica 37

2.4.2. Tecnologias da indústria 4.0 38

2.4.3. Desafios da indústria 4.0 40

2.4.4. Industria 4.0 e a produtividade de países ao redor do mundo 41

3. METODOLOGIA 43

3.1. Morfologia da Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI 43
3.1.1. Modelo operacional 43
3.1.2. Objetivos e metas 44
3.1.3. Processo 45
3.1.4. Cenário 46
3.1.5. Produto 47
3.1.6. Didática 48
3.1.7. Métricas 48
3.2. Produto do Lab- EGI 48
3.2.1. Processo de Montagem 49
3.2.2. Avaliação do Produto e Processo de Montagem 52
3.3. Tecnologia Lab-EGI 55
3.3.1. Avaliação Tecnologia Lab-EGI 57
3.4. Matriz SWOT 58
3.5. Análise comparativa da Fábrica de Aprendizagem 59
3.5.1. Análise comparativa – Grupo I 60
3.5.2. Análise comparativa – Grupo II 62
3.5.3. Análise comparativa – Grupo III 63
3.6. Proposta de novo produto 65
3.6.1. Análise crítica do novo produto 67
3.6.2. Árvore do produto 68
3.6.3. Definição do processo de montagem 70
3.6.3.1. Diagrama de precedência dos módulos 71
3.6.3.2. Proposta de Montagem I 72
3.6.3.3. Proposta de Montagem II 76
3.6.3.4. Resultado das propostas de montagem 79
4. CONCLUSÃO 83
4.1. Visão geral da dissertação 83
4.2. Dificuldades enfrentadas 84
4.3. Trabalhos futuros 85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87
APÊNDICE A: COMPONENTS PERTENCENTES AO DISPENSADOR DE FITA 93
APÊNDICE B: TEMPOS DE MONTAGEM ACUMULADO - PROPOSTA I E II 97
APÊNDICE C: TEMPOS DE MONTAGEM POR POSTO DE TRABALHO – PROPOSTA I E II 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enquadramento de pesquisa..... 7
Figura 2. Cone de Dale..... 13
Figura 3. Fábrica de Aprendizagem como um elo perdido do modelo de hélice tripla. 17
Figura 4. LPS – Fábrica de Aprendizagem 19
Figura 5. LPS – Conceito LPI 21
Figura 6. LPS – Conceito LRE 22
Figura 7. LPS – Conceito LPO. 23
Figura 8. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Modelo Operacional. 26
Figura 9. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Objetivos e Metas..... 27
Figura 10. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Processo 28
Figura 11. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Cenário. 29
Figura 12. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Produto 30
Figura 13. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Didática. 31
Figura 14. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Métricas..... 32
Figura 15. Recursos necessários ao longo do ciclo de vida da fábrica de aprendizagem ... 33
Figura 16. Sistema de controle distributivo 36
Figura 17. Conceito de Indústria 4.0 37
Figura 19. Modelo Operacional da Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI 44
Figura 20. Objetivos e metas da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI 45
Figura 21. Processos da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI 46
Figura 22. Cenário da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI 47
Figura 23. Produto da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI 47
Figura 24. Ilustração da Talocha 49
Figura 25. Eventual ponto crítico no processo de montagem do produto..... 53
Figura 26. Ponto de retrabalho Talocha 54
Figura 27. Leitor de Código de barras – Lab-EGI 55
Figura 28. Raspberry PI. Fonte: raspberrypi.org..... 56
Figura 29. Leitor e etiqueta RFID - LAb-EGI 56
Figura 30. Televisor, impressora 3D e tablet utilizada no Lab-EGI 57
Figura 31. Análise SWOT do produto, processo e tecnologias da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI 58
Figura 32. Possíveis produtos para o Lab-EGI 66
Figura 33. Árvore do produto..... 69
Figura 34. Diagrama de precedência dos módulos do produto 71
Figura 35. Divisão de montagem dos módulos - Proposta I 72
Figura 36. Tempo Acumulado - Montagem 1 74
Figura 37. Tempo por etapa - Proposta de montagem I 75
Figura 38. Divisão de montagem dos módulos - Proposta II 77
Figura 39. Tempos acumulados – Proposta de montagem I 78
Figura 40. Tempo por etapa - Proposta de montagem II..... 79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Tecnologias da indústria 4.0. 39
Tabela 2. Exemplos de Fábricas de Aprendizagem e produtos funcionais. 54
Tabela 3. Distinções das fábricas de aprendizagem em grupos. 60
Tabela 4. Comparação Lab-EGI - Grupo I 61
Tabela 5. Comparação Lab-EGI - Grupo II 63
Tabela 6. Comparação Lab-EGI - Grupo III 65
Tabela 7. Comparação dos possíveis produtos para o Lab-EGI 67
Tabela 8. Características do produto 67
Tabela 9. Descriminação dos módulos e seus componentes 70
Tabela 10. Instruções de montagem - proposta I 73
Tabela 11. Tempos médio e desvio padrão acumulado - proposta de montagem I 75
Tabela 12. Tempos médios e desvio padrão por posto de trabalho - Proposta de Montagem I 76
Tabela 13. Instruções de montagem - proposta II 77
Tabela 14. Tempos médio e desvio padrão acumulado - proposta de montagem II 78
Tabela 15. Tempos médios e desvio padrão por posto de trabalho - Proposta de Montagem II 79
Tabela 16. Comparação tempo acumulado montagem I e II 80
Tabela 17. Variação média por posto de trabalho 81

1.INTRODUÇÃO

Realizar tarefas que estimulem o senso crítico por parte dos alunos dentro da sala de aula é um dos grandes desafios encontrados pelos diversos professores de universidades públicas e privadas ao redor do mundo. Neste sentido, o emprego de tarefas aplicadas com objetivo de unir conteúdos teóricos à prática pode ser um forte aliado ao percurso acadêmico destes alunos.

Dentro das possíveis abordagens práticas no âmbito curricular está a metodologia *Learning Factory*. Esta é, usualmente, utilizada nos mais diversos setores industriais, uma vez que as empresas devem estar preparadas para as constantes mudanças do mercado, logo, sua aplicação se faz extremamente pertinente face à qualificação dos operadores, dado que seu cumprimento permite treinar o operador para função que lhe foi designado.

No entanto, ao contrário do que é pensado, o termo *Learning Factory* foi criado em 1994 na esfera acadêmica. Os autores Abele et al. (2015) elucidam que o objetivo inicial desta abordagem era conectar os conhecimentos tidos em engenharia e processos com a educação, simulando postos de trabalhos a fim de satisfazer as necessidades requeridas pela indústria. Mais tarde, o autor pondera que nos dias atuais o uso das *Learning Factories* vem aumentando principalmente no continente europeu, e que esta abordagem está se tornando cada vez mais usual para o treinamento de operadores e estagiários prestes a ingressarem no ambiente fabril.

Neste sentido, torna-se claro que o uso de atividades como jogos, dinâmicas e ações associadas ao emprego da abordagem *Learning Factory* proporcionam um avanço no que diz respeito a forma como os alunos de universidades compreenderão o conteúdo teórico lecionado em sala.

Em 2018, foi adquirido por parte da Universidade de Coimbra, mais precisamente no Departamento de Engenharia Mecânica – DEM, materiais e equipamentos para a elaboração de uma *Learning Factory*. Estes equipamentos foram alocados no laboratório de Engenharia e Gestão Industrial – EGI com a finalidade de simular o funcionamento da linha de montagem de um produto fictício. Com isso, este projeto visa, em conjunto com alguns discentes, analisar e propor formas eficientes de explorar a *Learning Factory* instalada no laboratório.

1.1. Motivação

O curso de Engenharia e Gestão Industrial – EGI, assim como os demais cursos, progridem quando há interação do aluno no processo de aprendizagem, quando este é usado como ferramenta de ensino para benefício próprio. Alinhado a isso, o emprego de atividades que simulem o cenário que o aluno irá encontrar quando profissional o ajudará no processo de formação.

Segundo a Organização Internacional das Fábricas de Aprendizagem (*International Association of Learning Factories* – IALF), *Learning Factory* é definido como um ambiente de aprendizagem em que processos e tecnologias são baseados em um local industrial real que permite uma abordagem direta ao processo de criação de produtos. As fábricas de aprendizagem são baseadas em um conceito didático que enfatiza a aprendizagem experimental e baseada em problemas.

Abele et al., (2015) acrescentam que o rótulo *Learning Factory* é composto pelos termos chaves: aprendizado e fábrica, logo devem ser utilizados para sistemas que abordam ambos os termos – sistemas de ensino e produção de bens. Os autores acrescentam que as fábricas de aprendizagem apresentam uma produção conforme a realidade e desta forma conseguem testar abordagens e/ou conduzir experiências.

No corrente ano de 2020, devido a pandemia causada pelo COVID-19, os alunos da Universidade da Pensilvânia - *PennState University* tiveram seus programas de estágio afetados. Em resposta, a *PennState* criou um programa de estágio remoto através de sua *Learning Factory* sediada na Faculdade de Engenharia Mecânica. Segundo Matt Parkinson, professor de engenharia mecânica, o estágio através da LF possibilita orientação, responsabilidade e uma chance de trabalhar em problemas abertos muito interessantes. Segundo a universidade, todos os projetos são destinados a resolver desafios do mundo real, apresentados por patrocinadores da indústria e diversos outros clientes.

A Rede de Fábricas de Aprendizagem Inovadoras (*Network of Innovative Learning Factories* – NIL) é um projeto de pesquisa internacional, promovido pela *Deutscher Akademischer Austauschdienst* – DAAD (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico) e

pelo ministério alemão de educação e pesquisa, com parceiros nacionais e internacionais. Oriundo deste projeto, foram instaladas diversas fábricas de aprendizados em universidades alemãs. De acordo com a IALF (2017), as Fábricas de Aprendizagem ainda estão se tornando uma parte mais importante da educação de jovens engenheiros com foco técnico ou econômico. As fábricas visam o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos em produções industriais. O foco está em reunir teoria e prática, envolvendo o ponto de vista de aplicações reais, conceitos inovadores de controle, métodos e ferramentas da engenharia industrial avançada, métodos e ferramentas da excelência operacional, ferramentas de planejamento da engenharia digital e virtual, bem como o uso de métodos *lean* na produção, administração, coordenação e toda a cadeia de suprimentos.

Seguindo o exemplo de universidades ao redor do mundo, introduzir e explorar da melhor forma as fábricas de aprendizagem nas universidades implicaria em um aumento de eficiência no processo de ensino, uma vez que desta forma é possível ligar dois fatores chaves: teórica e prática.

Portanto, esta pesquisa se justifica pela necessidade de unificar conteúdos teóricos à prática. Para isso, é necessários que hajam produtos alinhados a complexidade do curso, uma vez que estes são utilizados como objetos de estudo, juntamente com toda a linha de montagem presente na Fábrica de Aprendizagem

1.1. Objetivo Geral

Este trabalho objetiva propor um produto de maior complexidade e que possua funcionalidade de aplicação para a Fábrica de Aprendizagem do laboratório de Engenharia e Gestão Industrial presente no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra. A propósito, esta fábrica necessita de um novo produto?

1.2. Método de pesquisa

Para alcançar o objetivo descrito acima, buscou-se em primeiro lugar enquadrar a fábrica de aprendizagem de acordo com a abordagem qualitativa do método de morfologia das fábricas de aprendizagem, para que assim fosse possível compreender todos os sete aspectos mais importantes da fábrica. Adiante, foi promovido uma posterior avaliação do Lab-EGI do ponto de vista interno, contraponto todos os aspectos fundamentais da perspectiva tecnológica e do produto. Por último, processou-se a uma terceira exploração, com o objetivo

de confrontar a fábrica de aprendizagem deste projeto com fábricas de aprendizagem apresentadas por Abele, Mettermisch e Tisch (2019), as quais descrevem os melhores casos práticos de Fábricas de Aprendizagem ao redor do mundo.

Com a conclusão das explorações de abordagem qualitativa, destinou-se a abordagem de forma quantitativa, a qual sucedeu através da proposta de um novo produto baseado nos tempos de montagem.

O enquadramento dos métodos de pesquisa foi fundado nos pensamentos de Gerhardt e Silveira (2009). Portanto, a natureza deste projeto enquadra-se como de natureza aplicada, visto que os projetos de natureza aplicada visam gerar conhecimento para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. O objetivo é tido como exploratório, intencionado a criar maior familiaridade com problema proposto, a fim de torná-los mais explícitos. O procedimento é de caráter experimental, pois determina o objeto de estudo, seleciona as variáveis capazes de influenciá-lo e define formas de controle (Gil, 2002).

1.3. Estrutura da dissertação

Este documento está dividido em 4 principais capítulos. Com início neste presente capítulo, o qual realiza uma breve introdução a cerca do tema escolhido, bem como apresenta a justificativa desta pesquisa e seus objetivos.

No segundo capítulo, ocorrerá o enquadramento teórico da pesquisa. Neste ponto, será efetuado um apanhado a cerca dos temas fundamentais que serão abordados ao longo do trabalho, de modo que estes possam alicerçar as decisões tomadas nos capítulos subsequentes.

No terceiro capítulo, será discorrido acerca da descrição do caso. Este capítulo contará com uma breve descrição da *Learning Factory* contida no laboratório de EGI. Serão também expostos os materiais e equipamentos contidos na LF e suas respectivas funcionalidades. Após a etapa de enquadramento, ainda neste capitulo, será discorrido a cerca do produto que está sendo montado na Fábrica de Aprendizagem e as tecnologias nela contida. Por último, serão apresentados os resultados obtidos através da metodologia.

O quarto e último capitulo, conta com as conclusões gerais do trabalho, onde será feito uma visão geral da dissertação, os problemas enfrentados em todos o processo de construção do projeto e sugeridos os trabalhos futuros.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica firmou-se em dois diferentes temas. Primeiro, explanou-se acerca do tema *Learning Factory*, com o objetivo de compreender de forma mais clara a concepção histórica, os diferentes tipos de LFs, bem como suas áreas de atuação. De igual modo, revisou-se a bibliografia relativa ao tema aprendizado, o qual serviu de alicerce para compreender de que forma o aprendizado está contido nas universidades e de que maneira este deve ser explorado nas universidades.

As pesquisadas realizadas neste capítulo foram executadas em sua maioria em livros, artigos científicos e revistas, oriundas das fontes: *Elsevier, Web of Knowledge* e *Google Scholar*.

2.1. Enquadramento da pesquisa

Existem hoje na website de busca cientifica *ScienceDirect* 33.152 artigos de revisão, artigos de pesquisa, arquivos de discursão, comunicações curtas ou quaisquer outros arquivos relacionados à Fábricas de Aprendizagem. Desta quantia, 14.242 estão de alguma forma relacionados ao método de aprendizagem nas universidades e 1.350 arquivos estão associados a filosofia *Lean*. 855 encontram-se ligados à Engenharia e Gestão Industrial – EGI, dos quais 297 estão presentes em alguma revista focada ou de interesse de atuação da EGI. Estes são os arquivos que serão utilizados como fonte de pesquisa para a construção deste capítulo.

Figura 1. Enquadramento de pesquisa.

2.2. Aprendizagem

Na obra *Learning Strategies And Learning Styles* – Estratégia de Aprendizagem e Estilos de Aprendizagem, o autor Ronald R. Schmeck (1988) descreve aprendizagem de três diferentes perspectivas: a experimental, comportamental e perspectiva neurológica.

Do ponto de vista experimental (ou fenomenológico), o aprendizado é definido por indivíduos envolvidos no aprendizado. Os alunos descrevem suas experiências de aprendizagem de formas diferentes, logo estas não serão a mesma para todos. Nos extremos, um aluno pode descrever a aprendizagem como a retenção liberal do conhecimento, geralmente obtida através repetição e recitação, enquanto outro pode descrever aprendizagem como um processo interpretativo destinado a entender a realidade (Schmeck, p.3, 1988).

Bowden e Marton (1998), seguindo a mesma perspectiva, sugere que os educadores podem melhorar a experiência de aprendizado incentivando os alunos e professores a defini-los de maneira mais ampla, por exemplo incluindo o desenvolvimento pessoal ou a autorrealização como parte do processo. O autor também sugere ajudar os alunos a enriquecer suas caracterizações internas da realidade ajudando-os a ver esta realidade de mais de uma perspectiva.

A segunda perspectiva que se pode ter ao estudar o aprendizado é comportamental. Nesta perspectiva, o aprendizado é uma mudança observável na reação de uma pessoa a uma situação e estímulo igualmente observável. Diz-se, tradicionalmente que a mudança na reação, (ou seja, no comportamento) é relativamente permanente, uma vez aprendida. Em qualquer ambiente educacional, espera-se que as reações dos alunos aos eventos testes (exames, ensaios, recitações etc.) mudem como resultado de experiência educacionais. Assim, todos os educadores veem o aprendizado de uma perspectiva comportamental uma vez ou outra (Schmeck, p.4, 1988).

Finalmente, da perspectiva neurológica, a aprendizagem é o processo pelo qual o sistema nervoso é transportado por sua própria atividade. São os “rastros” deixados para trás pelos pensamentos, ou seja, a atividade neural altera os neurônios ativos, e essa mudança é a base estrutural do movimento do braço. A mudança ocorre como resultado direto da

atividade neural, ou seja, como resultado direto do processamento de informações (McCarthy e Schmeck p.5, 1988).

Os autores realçam que todos os professores deveriam considerar formas de estimular maiores variedades de atividades neurais (por exemplo, pensar e resolver problemas) na sala de aula, talvez focando menos na repetição e recitação literal. É afirmado também que a repetição simples é enganosamente recompensadora, uma vez que algo observável é realizado, mas o que é realizado pode, na verdade, contribuir pouco para o desenvolvimento.

2.2.1. Estratégias de aprendizagem

De acordo com Sousa (2015) as estratégias de aprendizagem possuem as seguintes variações:

- Estratégia de repetição: tem o objetivo de promover a aprendizagem associativa entre os elementos que constituem uma oração ou um texto, encontrando conexões para reter a informação, por exemplo, a memória. Esta é a habilidade de guardar informação para usá-la no futuro.
- Estratégias de organização: são as mais utilizadas por estudantes e são classificadas como:
    a) Sublinhar: proporciona salientar ideias principais através de meios para chamar a atenção para ideia, como marcações, símbolos, entre outros.
    b) Esquema: possibilita representar a estrutura de um texto através de gráficos, diagramas e esboços. Em um esquema é possível organizar as ideias principais de um texto bem como analisar as relações de causa e efeito.
    c) Resumo: consiste em realizar um conteúdo conciso contendo apenas as informações principais do texto.
    d) Quadro comparativo: é organizado geralmente em colunas contendo as principais diferenças entre dois pontos, ideias, teorias e etc.
    e) Mapa conceptual: os mapas conceptuais contribuem para compreensão de informações que os estudantes devem aprender, isto implica na prática de um pensamento onde é refletido a relação entre informações

já conhecidas com a nova informação, logo é gerado o pensamento através da ligação de ambas as informações.

f) Mapa mental: o mapa mental constitui-se em um recurso para apresentar detalhadamente as conexões existentes entre as informações, que muitas vezes se acham fragmentadas e pulverizadas, tornando-as mais visíveis Kozel (2018).

- Estratégia de recuperação de informação: proporciona a procura da informação na memória e fornecimento da resposta, em outras palavras, é útil para otimizar o processo cognitivo de recuperação ou lembrança através de sistemas de procura ou promoção de resposta. É fundamentado no sistema cognitivo e precisa contar com a capacidade de recuperação da lembrança do conhecimento armazenado na Memória de Longo Prazo (MLP), as quais são classificadas em:
  a) Estratégias de procura: especialmente subordinada a organização do conhecimento na memória, resultante da estratégia de codificação. O nível dos "esquemas" (estruturas teóricas de conhecimento) constrói o campo da procura. Logo, os "esquemas" utilizados tem sua ligação direta com a qualidade da codificação.
  b) Os esquemas possibilitam uma procura organizada na memória e auxilia reconstrução a informação procurada. É suposto que esta estratégia transporte informações armazenadas na MLP para a memória de trabalho, gerando assim as respostas desejadas.
  c) Busca de codificações de acordo com o fundamento da codificação particular.
  d) Estratégias de geração de resposta: são originadas de uma atitude apropriada à situação. As táticas podem adoptar uma disposição sequencial: livre associação, ordenação dos conceitos recuperados por livre associação e redação da organização.
- Estratégias metacognitivas: são fundamentadas no entendimento que um determinado estudante possui dos próprios processos e de métodos cognitivos

de aprendizagem em especial, e por outro lado, na capacidade de controle das mesmas.

- Estratégias sócio afetivas: procedem de fatores sociais que estão contidos nas estratégias listadas acima e que ajudam no controle, canalização, ou redução da ansiedade, dos sentimentos de incompetência, das aflições, expectativas e fracassos dos estudantes que surgem quando estes se deparam com tarefas complexas, extensas e de difícil aprendizagem.

2.2.2. Learning by doing

Em um passado histórico, a humanidade conheceu personagens que obtiveram sucesso em seus estudos e teorias a partir da experiência, Albert Einstein, Newton, Aristóteles, Platão, Thomas Edison e tantos outros grandes nomes da ciência utilizavam o método de tentativas através de experiências em seus campos de atuação, ou seja, nada era unicamente teórico ou prático, havia uma comunhão entre ambas as partes.

O conceito *Learning By Doing* pode ser definido como "aprender fazendo" ou "aprender mediante a prática". Este conceito permite que o individuo transforme seu intelecto em conhecimento útil aplicável, através de tarefas práticas, onde é possível perceber a funcionalidade do intelecto adquirido de forma teórica.

Na atualidade, o autor Roger C. Schank (2013) se tornou um grande defensor do uso deste método de ensino e aprendizagem, o autor acredita que a vida requer mais que apenas saber, ela requer prática, logo, existe apenas uma forma efetiva de ensinar alguém, é deixando o individuo fazer.

Existem diversas atividades que são aprendidas ao longo da vida que são quase que impossíveis serem ensinadas de forma teórica. O ato de nadar por exemplo, é quase inimaginável que algum instrutor de natação ensine seus alunos a nadarem de forma teórica, de forma geral, aprende-se a nadar dentro das piscinas exercitando os movimentos de braços e pernas. De igual modo, são os ensinamentos para aprender a andar de bicicleta, os pais quando presenteiam seus filhos com bicicletas, não os levam para ter aulas teóricas de como alcançar o equilíbrio perfeito e conjugar as pedaladas para manter a bicicleta em movimento, as crianças pedalam de forma intuitiva e naturalmente alcançam o sincronismo entre pernas e braços. A metodologia *Learning by Doing* parte do mesmo princípio: aprender mediante a prática, por mais que isto custe algumas falhas ou tombos.

Um dos problemas mais importante dos métodos de ensino atuais é que os alunos não estão aprendendo habilidades, o ensino está mais focado em transmitir conhecimento factual aos alunos. Isto se torna evidente nas metas anuais dos alunos, onde o objetivo de aprendizado está no formato "saber isto". Por exemplo, o departamento de biologia exigem que os alunos saibam que animais possuem fígado e baço, porém ao menos que os ensinem o que fazer com este conhecimento – saber porquê deveriam se preocupar em conhece-los – eles rapidamente esquecem o que lhes foi ensinado (Schank et al., 2013).

2.2.2.1. O cone de Dale

Em 1946, Edgar Dale introduziu ao mundo sua teoria chamada de Experiência do Cone que consistia no progresso das experiências, das mais concretas (parte inferior do cone) as mais abstratas (parte superior de cone). O cone de Edgar Dale pretendia informar os leitores de como as pessoas se lembram com base em como encontraram informação.

De acordo com o Cone de Experiência de Dale (Figura 2) a base do cone é formada por experiências concretas (vida real) como atividades em grupo, atividades práticas e discursões. Esta representa ativadas concretas relacionadas ao aprendizado. O meio do cone é um tanto quanto mais abstrato, representa o que é observado por parte dos alunos. Neste ponto, inclui a ilustração de imagens, filmes, tutoriais, áudios e outros métodos que podem ser ilustrados. O pico do cone é o mais abstrato, nele as experiências são difíceis de ligar com a realidade e são geralmente representadas por simbologias, comunicação verbal ou visual, ou seja, repetir o que é falado. Abaixo encontra-se uma versão adaptada do Cone de Dale, explicando o que tende a ser lembrado após duas semanas.

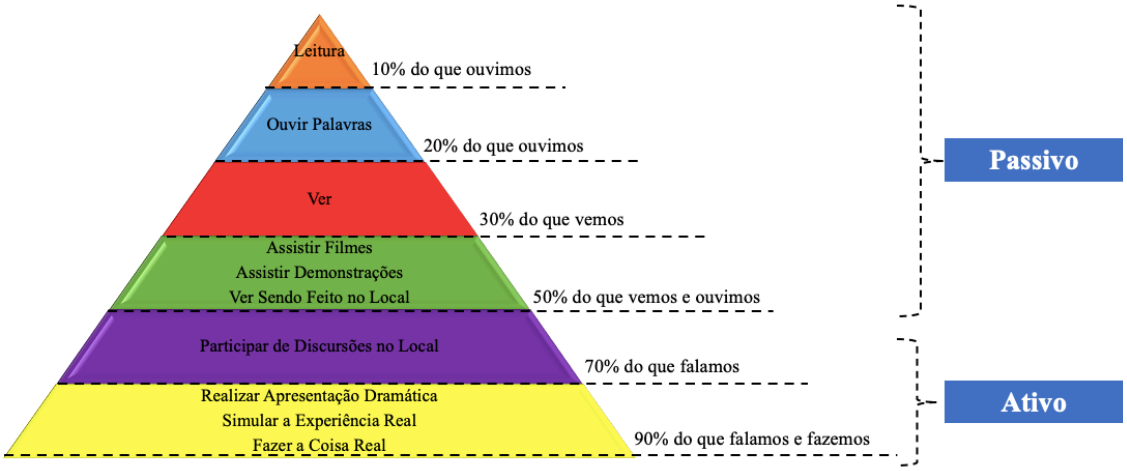


Figura 2. Cone de Dale.

Adaptado de Davis e Summers (2015)

Davis e Summer (2015) explicam que o cone representa a taxa média de retenção de informação por parte dos alunos. Logo, quanto mais a fundo o aluno conseguir ir, melhor será a experiência com o aprendizado. Os autores sugerem que os alunos sejam envolvidos no processo de ensino de forma contundente, visto que as técnicas de "aprendizagem pela ação" resultam em 90% de retenção. Segundo eles, as pessoas tendem a entender melhor quando utilizam estilos de aprendizagem perceptivos. Os estilos de aprendizagem de forma perceptiva utilizam canais sensoriais e quanto mais canais sensoriais forem possíveis durante a interação, maior serão as chances de aprendizado.

2.2.3. Aprendizagem com jogos

O ensino superior hoje está diretamente relacionado com a inovação tecnológica que se encontra em ritmo cada vez mais acelerado. Os especialistas atualmente possuem conhecimentos com tempo de meia vida curto enquanto o número de especialistas não para de crescer. Enquanto os engenheiros enfrentarão problemas complexos e mal estruturados, os métodos de ensino em muitos casos não são suficientes para a resolução desses problemas. Habilidade adicionais como pensamento crítico, resolução de problemas, tomada de decisão e teste de hipóteses são denominadas como "habilidades do século XXI" (Severengiz, et al., 2020).

Uma área onde é possível dizer que estas habilidades são necessárias são as fábricas. Estas devem ser gerenciadas da forma mais eficiente, pois são responsáveis por grande parte da riqueza que é gerada em um país. Para se chegar em um nível satisfatório de

gerenciamento é necessário que haja profissionais competentes. Logo, as instituições formadoras devem cumprir seu papel formando profissionais capazes de lidar com situações que poderão ser encontradas no cotidiano fabril.

Uma abordagem promissora para desenvolver as habilidades descritas são os jogos sérios (*serious games*). Para Dondlinger (2007) eles podem permitir que os alunos atinjam níveis cognitivos mais elevados e com isso desenvolvam as habilidades exigidas. Aguilera e Mendiz (2003) concluem que, ao associar o conhecimento com os jogos sérios promovem uma aprendizagem eficaz.

2.2.3.1. Serious game

A definição do termo "jogo sério" ainda é motivo de discursão (Haring et al., 2011). Clark. C (1970) descrevia jogo sério como sendo um jogo de propósito educacional explícito e não destinado a ser jogado para fins de diversão. Zyda (2005) sente a necessidade de computadores e "regras" específicas, que usam entretenimento para promover o governo ou objetivos coorporativos de treinamento, educação, saúde, políticas públicas e comunicação estratégica. O que todos estes pensamentos possuem em comum é a não destinação para fins de divertimento. Bardudeen e Marksberry (2010) acrescentam que, em aplicação voltada para a engenharia, pode ser encontrado em reparo e manutenção, produção enxuta, logística, montagem, economia circular, inteligência artificial e indústria 4.0. Além disso, podem ser integrados em outros métodos de ensino.

Na literatura é possível encontrar diferentes terminologias para o conceito de jogos sérios, tais como: jogos educacionais sérios (*serious educational games* – SEG), aprendizagem baseada em jogos (*game-based learning*) e simplesmente jogos educacionais (*educational games*). De acordo com Ismailović et al. (2012) e Hussaan et al. (2011), o SEG deve envolver dois componentes chave: espaços de conhecimento e conhecimento de jogo. O espaço de conhecimento é constituído para codificar materiais de aprendizado referente ao intelecto, ao conhecimento a ser aprendido, de mesmo modo que o espaço de conteúdo do jogo é composto com elementos jogo jogáveis que transmitem o bloco de conhecimento implicitamente.

2.3. Fábricas de aprendizagem

2.3.1. Concepção histórica

Em meado dos anos de 1994, a *National Science Foudation* (NSF) nos Estados Unidos concedeu um consórcio liderado pela universidade de *PennState* uma bolsa para desenvolver uma "fábrica de aprendizagem" (*Learning Factory*). Foi exatamente quando o termo foi conhecido e patenteado. Na altura, referia-se a projetos interdisciplinares de design de engenharia sênior com fortes ligações e interações com a indústria. Uma infraestrutura para a faculdade e uma instalação de 2.000 metros quadrados e equipada com máquinas, materiais e ferramentas que foram concedidas e utilizadas para apoiar centenas de projetos de design patrocinados pela indústria desde 1995. Este programa foi conhecido nacionalmente e recebeu o prêmio Gordon de inovação da *National Academy of Engineering* em Educação e Engenheira no ano de 2006. Este modelo inicial de Fábricas de Aprendizagem enfatiza a experiência prática obtida pela aplicação do conhecimento aprendido no culminar da educação em engenharia para resolver problemas reais na indústria e projetar produtos para satisfazer as necessidades identificadas (Jorgensen et al., 1995; Lamancusa et al., 2008).

Veza (2015) acrescenta que as fábricas de aprendizagem são oriundas do MEEP (*The Manufacturing Engineering Education Partneship*). O MEEP advém da parceria entre a universidade PennState na Universidade de Puerto Rico – Mayagüez, na Universidade de Washington, no Sandia *National Labs* e em outras filiadas indústrias. Os objetivos específicos segundo Lamancusa. J et al. (1997) eram:

- Um currículo de engenharia baseado na prática, o qual une conhecimento analítico e teórico com manufatura, design, realidades de negócios e habilidades profissionais;
- Fábricas de aprendizagem em cada instituição parceira integrante acoplada ao currículo, para experiência prática em projeto, fabricação e realidade do produto;
- Forte elaboração com a indústria por meio de consultorias e projetos de design de *capstone* patrocinados pela indústria;
- Divulgação – para outras universidades, governo e indústrias.

2.3.2. Conceito e cenário atual

As fábricas de aprendizagem – FA foram desenvolvidas para transmitir conhecimento substancial sobre os conceitos e métodos do processo de melhoria para alunos e participantes de seminários industriais em um ambiente de manufatura do mundo real. As vantagens deste ambiente de fabricação específico podem ser usadas para educação acadêmica de estudantes universitários, bem como para o treinamento de participantes industriais. Cada vez, mais as empresas estão convencidas desse conceito, por isso estão implantando fábricas de aprendizagem para qualificar seus especialistas desde o chão de fábrica até o nível superior. O principal objetivo das FA é transmitir uma visão completa dos processos de negócios, métodos, conceitos e ferramentas que possibilitam detectar potenciais de melhoria e implementar processos mais eficientes no ambiente de produção dos próprios participantes. A FA cobre três principais áreas, são elas: gestão enxuta, eficiência de recursos, assim como, gestão e organização. Apesar destas três áreas serem um tanto quanto diferentes todas estão interligadas dentro de um ambiente de fabricação real (Kreimeier et al.,2014).

Para Rentzos L et al., (2014) e Wagner U et al., (2014), a missão das fábricas de aprendizagem é integrar design, manufatura e realidades de negócios no currículo da engenharia. Isto é possível através do equilíbrio entre a engenharia enquanto ciência e engenharia enquanto prática.

Veza, Gjeldum e Mladineo (2015) no entanto, ponderam que às vezes há um elo que falta no modelo da hélice tripla – uma instituição ou organização que realmente estabeleceria uma relação entre governo-indústria-universidade. Em seu artigo, o autor descreve a fábrica de aprendizagem como sendo um elo perdido no modelo de hélice tripla (figura 3). Ele elucida que através da FA é possível estabelecer um elo entre universidades e a indústria.

Figura 3. Fábrica de Aprendizagem como um elo perdido do modelo de hélice tripla.

Adaptado de Veza, Gjeldum e Mladineo (2015).

Slaus (2003), avança dizendo que a relação entre o ambiente acadêmico e a tomada de decisão política se assemelha a separação entre política e ciência. Veza, Gjeldum e Mladineo (2015) refletem afirmando que é difícil criar um quadro no qual a sinergia entre universidade e governo possa ser gerado por meio das ações e interações de funcionários governamentais, uma vez que ocasionalmente estes possuem cargos temporários e são locados em instituições com extrema burocracia, enquanto representantes do meio econômico possuem interesses em maximizar os lucros e os membros representantes das universidades estão mais preocupados com novas ideias, inovação e metodologias, para, após isso, preocupar-se com os processos burocráticos do setor público e as condicionantes especificas do mundo empresarial. Ademais, utilizando projetos ligados a fábricas de aprendizagem pode gerar uma conexão entre universidades e governo a fim de identificar as necessidades das indústrias, logo uma conexão também é estabelecida entre governo e indústria (Veza, Gjeldum e Mladineo, 2015)

Os autores concluem que a FA pode ser um lugar onde a universidade, a indústria e o governo se encontram e compartilham necessidades, expectativas e trabalhem em projetos colaborativos. Segundo eles, esta poderia ser a solução para o elo perdido do modelo de hélice tripla.

Segundo Sudhoff et al., (2020), na Europa e em todo mundo, cada vez mais fábricas de aprendizagem vêm sendo construídas e o número não para de crescer. Para categorizar o grande número de fábricas de aprendizagem, uma primeira morfologia foi desenvolvida em 2015, a qual já assume diferentes dimensões. Além disso, um grupo de trabalho chefiado pelo *International pour Recherche em Productique* (CIRP) também tratou deste tema. Segundo o autor, o grupo tentou criar, baseado por Abele (2015), uma visão geral cientifica para fábricas de aprendizagem. Contudo, este e outros projetos não foram capazes de criar uma visão geral holística das fábricas de aprendizagens nas universidades. Sudhoff (2020) afirma que as fábricas de aprendizagem diferem em termos, conceitos (otimização de processo, fábrica digital, economia de energia) e equipamentos (maquinário, estacoes de trabalho). O autor conclui que não hoje existem estudos quantitativos sobre diferentes projetos de fábricas de aprendizagem nas universidades e seus conceitos didáticos.

2.3.2.1. Lean Production System (LPS) – Learning Factory

No início, as fábricas de aprendizados eram focadas em processos de melhoria e tópicos de gestão enxuta. Nos anos subsequentes, novos desenvolvimentos e desafios surgiram na engenharia industrial. Em decorrência dos custos elevados de recursos, como materiais e energia, assim como a mudança social para um ambiente menos emissor de gases que prejudicam a atmosfera, o tema eficiência de recursos tornou-se cada vez mais importante. Outro campo de igual relevância para as organizações é a gestão e organização do trabalho, tal como a co-determinaçào (kreimeier et al., 2014).

Kreimeier (2014) reitera que estes novos desafios exigem consideração de todos os tópicos mencionados para o treinamento dos alunos da indústria. Segundo ele, o objetivo do LPS é considerar até mesmo novos tópicos em uma fábrica de aprendizagem. A fim de alcançar este objetivo, a infraestrutura de uma fábrica de aprendizagem combinada com um

produto é considerada com o cumprimento de uma gestão enxuta, eficiência de recursos, tal como gestão e organização (Figura 4).

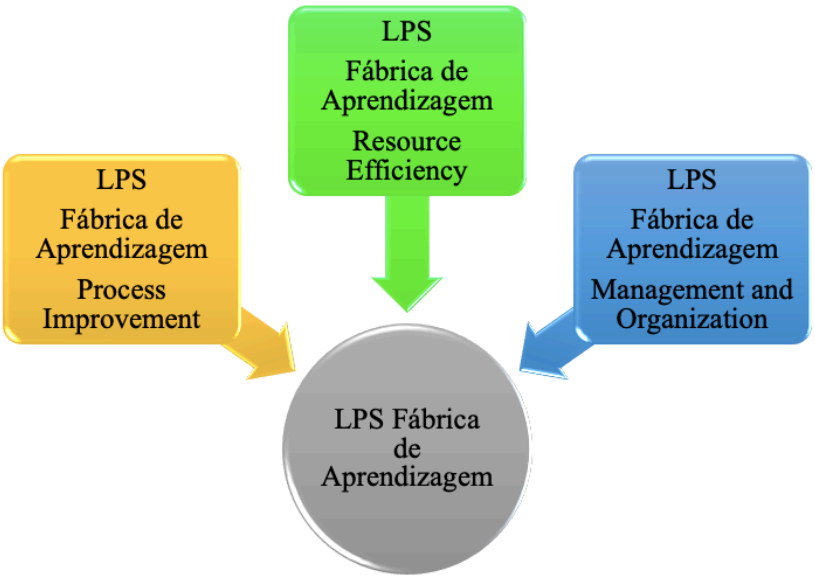


Figura 4. LPS – Fábrica de Aprendizagem

Adaptado de Kreimeier et al. (2014)

2.3.2.2. Learning Factory – Process Improvement (LPI)

O principal obstáculo para a implementação de um sistema de produção enxuto é a resistência por parte dos funcionários. Isso se dá devido a falta de conhecimento e/ou treinamento inadequado (Dombrowski et al., 2008). Para que seja possível sanar este problema, a aplicação prática do que foi aprendido é necessário (Derr, Bauer e Neuhaus. 2010). Visto que os funcionários representam uma parte de extrema importância na cultura coorporativa, é necessário um aprimoramento adicional da cultura de solução de problemas e melhoria dentro do ambiente empresarial (Liker, Meier. 2007). Devido ao seu poder de persuasão, a abordagens prática se faz a opção mais eficiente no que diz respeito ao treinamento dos colaboradores (Womack e Jones. 2003).

Devido ao ambiente integrado da fábrica de aprendizagem, o método 5S, que em muitos casos é implementado primeiro nas empresas, pode ser ensinado em um segundo plano nos postos de trabalho reais existentes. Devido a sua facilidade, este pode ser vinculado a conteúdos existentes já disponíveis. Além do método 5S, tópicos e técnicas como auditorias, maturidade, desperdício, caminhada de resíduos e círculo de giz, também são ministrados nas unidades de aprendizagem (kreimeier et al. 2014).

Para obter uma visão geral da interligação das estações de trabalho com materiais compartilhados e fluxos de informações, o método do fluxo de valor (*value stream mathod*) pode ser ensinado com a ajuda da fabricação de um produto real. Em alguns casos, existem peças produzidas mecanicamente no local, bem como a aquisição de peças vindo de fora do ambiente de fabricação. Os componentes são montados e preparados em uma estação de embalagem de entrega. Os participantes da FA podem aumentar seus conhecimentos aplicando este conceito em ambientes reais de fabricação (Kreimeier et al., 2014).

Em um segundo momento, um fluxo de valor de destino é desenvolvido pelos participantes sob orientação do orientador. Métodos como *Lean, Kanban, Pull* e *Just-in-time* (JIT) são usados, assim como ferramentas de engenharia industrial para balanceamento de linha e otimização de trabalho. As mudanças no fluxo de valor alvo, como alinhamento às necessidades dos clientes são então colocadas em prática. Ao fazer-se uma rodada de simulação adicional, é possível comprovar as melhorias no sistema. Indicadores de desempenho como tempo de processamento e estoque comprovam o feito (Kreimeier et al., 2014).

A unidade de aprendizagem final "melhoria do processo", contém um resumo geral. Um fluxo de trabalho do cliente à distribuição com fornecedores e departamento indiretos é simulado novamente com a finalidade de encontrar melhorias em potencial. Os participantes devem então desenvolver um fluxo de valor de destino ao aplicar métodos e ferramentas aprendidas. Finalmente, a última simulação deve mostrar melhorias substanciais (Kreimeier et al., 2014).

Ao todo, a essência de ensino da fábrica de aprendizagem oferece um conceito recreativo profissional sobre o pensamento *lean*, onde teoria e prática se unem.

Os métodos e suas respectivas sequências estão ilustrados na figura 5.

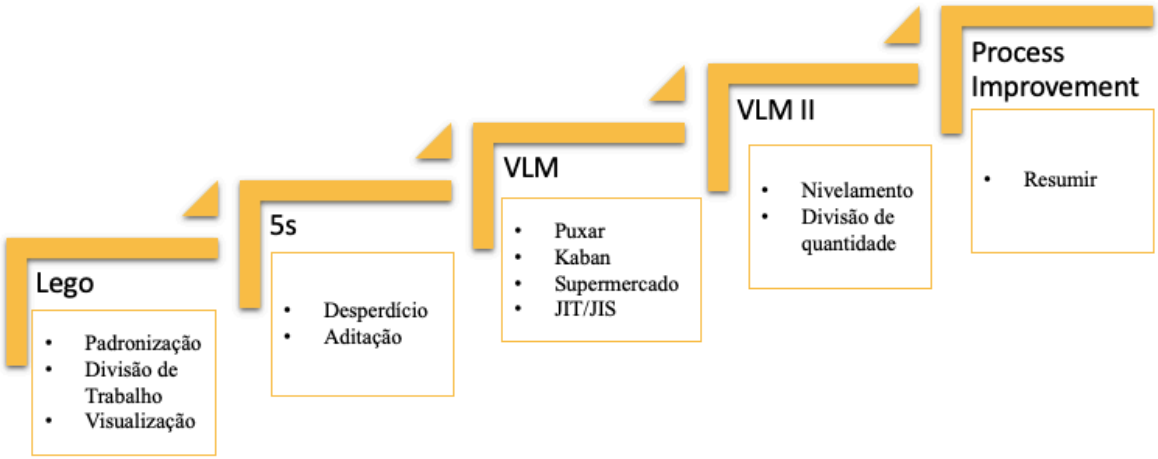


Figura 5. LPS – Conceito LPI

Adaptado de Kreimeier et al. (2014)

2.3.2.3. Learning Factory – Resource Efficiency (LRE)

Por motivos ecológicos, especialmente para a indústria manufatureira, torna-se mais importante focar na eficiência de recursos (energia e material). Não somente por razões políticas, mas os crescentes prêmios de recursos e a crescente competição de nível internacional qualificam a eficiência dos recursos como um fator chave para a competição no futuro (Kreimeier et al., 2013). Em vez de se concentrar nos indicadores como custo, tempo e qualidade, um foco maior nas questões de eficiência energética e material, reduzindo as emissões de CO2, pode ser lucrativo para as industrias (Bakir et al., 2013).

Dentro da concepção LRE, quatro conceitos estratégicos são abordados para os participantes desde o chão de fábrica até o nível hierárquico mais alto. Um modelo estruturado para a identificação e avaliação dos potenciais inerentes ao processo (figura 6), é o alicerce que irá permitir que o participante aplique os conceitos aprendidos na sua organização e processo.

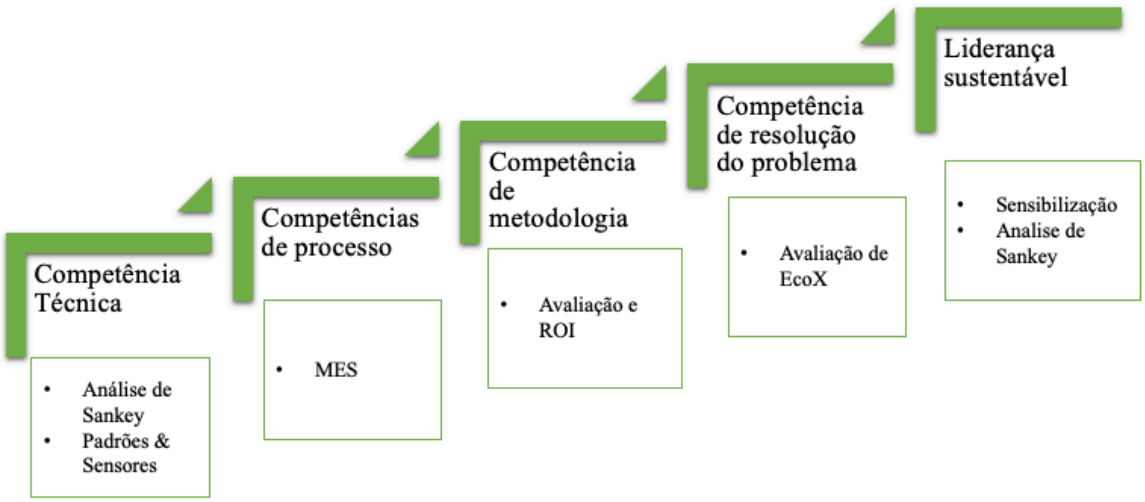


Figura 6. LPS – Conceito LRE

Adaptado de Kreimeier et al. (2014).

No início do processo de fabricação, os participantes devem conversar com os clientes sobre o componente a ser produzido. No diálogo, o cliente destaca que uma caixa deve ser produzida da maneira mais eficiente possível em termos de recursos. A caixa de selo é produzida didaticamente, com foco na eficiência de máquinas e materiais.

Em uma segunda etapa, os participantes devem analisar o material de produção e os fluxos de informação. Durante a etapa de análise, a técnica do fluxo de valor e o mapeamento do fluxo são utilizados.

A análise de dados é realizada na etapa 3, usando os sensores de medição instalados. Todos os parâmetros de entrada e saída são medidos de forma clínica para encontrar os principais consumidores e entender os processos. Com base neste conjunto de informações, os processos de fabricação podem ser avaliados.

2.3.2.4. Learning Factory – Management and Organization (LMO)

Além das duas áreas citadas, existe outra área na LPS Fábrica de aprendizagem: gestão e organização (*manegemente and organization*). Esta área é focada na co-determinação, bem como no gerenciamento de mudanças. O foco principal da LMO é no fator humano dentro da organização. No início, os participantes são introduzidos aos conceitos de puxar e empurrar para o controle do fluxo de materiais. O próximo assunto tange o gerenciamento

de mudanças, onde os participantes devem otimizar os processos de fabricação e negócios considerando a integração dos funcionários. Especialmente os funcionários nos processos de mudança que mostrarem a menor aceitação da mudança organizacional (Schreyögg. G, 2008) .

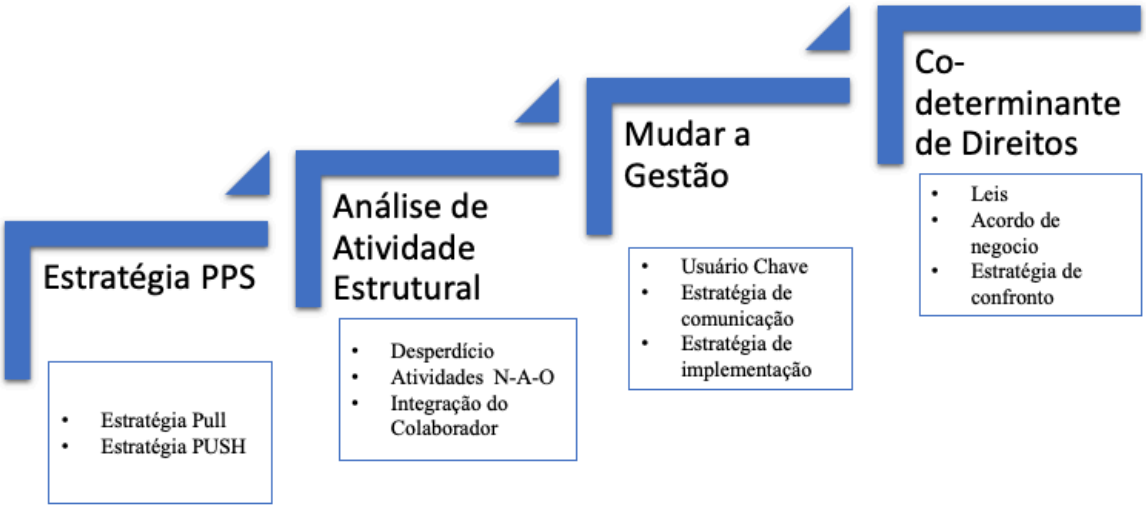


Figura 7. LPS – Conceito LPO.

Adaptado de Kreimeier et al. (2014).

2.3.3. Variedade de fábricas de aprendizagem

Um dos grandes autores que refletem a respeitos das fábricas de aprendizagem é Abele. Em seu artigo publicado em 2015, titulado "Fábricas de Aprendizagem para Pesquisa, Educação e Treinamento" (*Learning Factory for Research, Education and training*), Abele (2015), afirma que normalmente nenhuma FA se assemelha a outra ou é usada da mesma maneira. Por isso, o autor descreve algumas variedades do mesmo conceito de fábrica de aprendizagem, as quais serão uteis para perceber os diferentes conceitos que este recurso pode tomar.

Fábrica de Aprendizagem I – Cenário de aplicação industrial**:** Para Abele et al., (2015) no passado apenas uma pequena parcela das empresas conseguia aumentar o seu valor aos clientes através do uso de métodos de produção enxutos. Não obstante, a diferença não se encontrava nos métodos utilizados, mas na capacidade de treinar e capacitar seus funcionários. As fábricas de aprendizagem são ambientes adequados para que alunos e funcionários possam adquirir diferentes competências.

O projeto *Process Learning Factory* CIP consiste num ambiente de mais de 500 metros quadrados que conta com diversas máquinas e ferramentas da vida real, nas quais

todos os participantes industriais podem descobrir métodos enxutos de produção real, sem risco de falha ou pressão de custo. Este projeto consiste em um workshop com três módulos: compreensão e noções básicas de produção enxuta, núcleo enxuto e elementos e cultura enxuta.

Além de tudo, o projeto pode ser voltado para requisitos específicos do cliente. Desta forma, os módulos são focados em treinamentos específicos individualizados para a realidade de cada indústria.

Fábrica de Aprendizagem II – cenário de aplicação acadêmica**:** Em Viena, uma FA chamada TU Wien consiste em uma plataforma educacional que possibilita os alunos vivenciarem o processo interativo de emergência do produto. Isto inclui etapas como planejamento e design do produto, engenharia, fabricação, montagem, assim como controle de qualidade. O treinamento prático se resume na fabricação de máquinas caça-níquel, envolvendo todo seu planejamento e processo de otimização de fabricação. Diferentes abordagens são atribuídas, aprendizagem combinada, aprendizagem *online*, ensino frontal, treinamento prático e em equipes fazem parte do processo.

Com projetos voltados para a indústria 4.0, a TU Wien requer compreensões adequadas de engenharia, assim como ciência da computação. O autor ressalta, que o perfil de engenheiro industrial clássico, deve mergulhar no mundo da informação e tecnologia. Habilidades em TI são úteis para a modelação de processos complexos e integração entre diferentes sistemas.

Fábrica de Aprendizagem III – cenário de aprendizagem remota: A fábrica de ensino surgiu como um promissor paradigma de interação entre ambiente de fábrica e as salas de aula. É um espaço de sala de aula não fixo, que possui o auxílio de equipamentos de comunicação avançado para facilitar a interação entre equipes de engenheiros e alunos/pesquisadores que trabalham em problemas da vida real e envolvem instalações industriais e acadêmicas. Com isso, é operado um sistema bidirecional de comunicação que leva a fábrica ao laboratório e o laboratório à fábrica.

O processo é operado através de um site que deve ser usado para fins de ensino, com o objetivo de melhorar a atividade de ensino existente no processo prático da indústria.

Os alunos e pesquisadores agem como "receptores" do conhecimento enquanto os engenheiros das fábricas introduzem e apresentam problemas reais de chão de fábrica, inserem os alunos neste problema em busca da solução.

Fábrica de Aprendizagem IV – Cenário de pesquisa de mutabilidade: A plataforma de produção transformável (*iFactory*) inclui células que podem ser modificadas pra alterar o layout do cenário. A FA foca na aprendizagem de sistemas que integram design de produtos, customização e personalização. O modulo *iOrder* é integrado com facilitadores físicos, que permitem que o processo seja configurável e orientado para variantes e planos de produção.

Fábrica de Aprendizagem V – Cenário de aplicação de consultoria: No setor de consultoria, de uma forma global, as fábricas de aprendizagem são muito utilizadas. A empresa de consultoria global *McKinsey* por exemplo, fazem o uso deste artifício para a capacitação em vários ramos de atuação.

Fábricas de Aprendizagem VI – Cenário de demonstração : As fábricas de aprendizagem servem como um ambiente perfeito para a demonstração dos fundamentos dos cenários de produção. Partes leigas na área hoje desejam ter acesso a interação entre os trabalhadores humanos, automação, fluxo de informações e comunicação em um ambiente de produção vinculado. Portanto, participantes que não são profissionais de produção recebem uma introdução sobre a consistência dos dados do design do produto, fabricação e montagem, logística e outros setores da produção.

2.3.4. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem

Abele et al., (2015) definem as dimensões de aprendizagem das fabricas de aprendizagem nos seguintes âmbitos:

- Modelo Operacional;
- Objetivos e Metas;
- Processo;
- Cenário;
- Produtos;
- Didática;
- Métricas.

Os autores Tisch, et al., (2015) em parceria com CIRP CWG e *Network of Innovative Learning Factory* (NIL) desenvolveram uma descrição multidimensional baseado no modelo de dimensões de aprendizagem desenvolvido por também Abele et al., (2015), que segundo os autores, auxilia na orientação de projetos de novas fabricas, bem como na caracterização de fabricas já existentes. Segundo eles, as fábricas são desenvolvidas com base em um propósito subjacente ao meio da definição pretendida de currículos, equipamentos, um modelo didático. O modelo de descrição desenvolvido possui 59 características únicas e estarão ilustradas a seguir.

2.3.4.1. Modelo Operacional

Para operar uma Fábrica de Aprendizagem não é suficiente ter somente equipamentos ligados a mesma. As Fábricas de Aprendizagem criam valores e competências a todos os níveis hierárquicos ao longo da cadeia de valor em vários campos tecnológicos e organizacionais. Com o objetivo de não apenas construir, mas também operar e melhorar continuamente a FA, esta deve estar ligado a um modelo operacional sustentável, incluindo financeiro, pessoal e temático de qualidade/sustentabilidade (Tish et al., 2015).

<table>
<tr><td rowspan="2">1.1</td><td colspan="4">Instituição Acadêmica</td><td colspan="5">Associação não Acadêmica</td><td colspan="2">Operador Orientado a Lucro</td></tr>
<tr><td>Operador</td><td>Universidade</td><td>Faculdade</td><td>BA</td><td>Escola Vocacional</td><td>Câmara</td><td>União</td><td>Associação de Empregados</td><td>Rede Industrial</td><td>Consultor</td><td>Compnhia</td></tr>
<tr><td>1.2</td><td>Treinador</td><td>Professor</td><td colspan="2">Pesquisador</td><td>Estudante Asistente</td><td>Técnico Expert/ Especialista</td><td colspan="3">Consultora</td><td colspan="2">Educacionalista</td></tr>
<tr><td>1.3</td><td>Desenvolvimento</td><td colspan="3">Prórpiro desenvlvimento</td><td colspan="3">Assistencia Externa p/ Desenvolviento</td><td colspan="4">Desenvolvimento Externo</td></tr>
<tr><td>1.4</td><td>Fundo Inicial</td><td colspan="3">Fundos Internos</td><td colspan="5">Fundos Públicos</td><td colspan="2">Fundo de Companhias</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>Fundos em Curso</td><td colspan="3">Fundos Internos</td><td colspan="5">Fundos Públicos</td><td colspan="2">Fundo de Companhias</td></tr>
<tr><td>1.6</td><td>Fundos em Continuação</td><td colspan="3">Fundos de Curto Prazo</td><td colspan="5">Fundos de Médio Prazo</td><td colspan="2">Fundos de Longo prazo</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.7</td><td rowspan="2">Modelo de negócios para treinamento</td><td colspan="4">Modelos Aberto</td><td colspan="5" rowspan="2">Modelos Fechados (Treinamento apenas para uma única companhia)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Modelo de Clube</td><td colspan="2">Taxa de Curso</td></tr>
</table>

Figura 8. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Modelo Operacional.

Adaptado de Tisch et al., (2015)

2.3.4.2. Objetivos e metas

Para classificar um sistema como "Fábrica de Aprendizagem", a aprendizagem em algum sentido deve fazer parte do conceito. Em seguida, a educação e/ou a formação profissional. Como fins secundários adicionais, tem-se a produção industrial, a demonstração, a transferência de tecnologia e a propaganda.

<table>
<tr><td>2.1</td><td>Propósito Principal</td><td colspan="5">Educação</td><td colspan="3">Treinamento de Verão</td><td colspan="5">Pesquisa</td></tr>
<tr><td>2.2</td><td>Propósito Secundário</td><td>Ambiente de teste / ambiente piloto</td><td colspan="4">Produção Industrial</td><td colspan="4">Transferencia de Inovação</td><td colspan="4">Propaganda para produção</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.3</td><td rowspan="2">Grupos alvos para educação e treinamento</td><td rowspan="2">Alunos</td><td colspan="3">Estudantes</td><td colspan="5">Colaborador</td><td rowspan="2">Empreendedor</td><td rowspan="2">Freenlancer</td><td rowspan="2">Desempregado</td><td rowspan="2">Aberto ao público</td></tr>
<tr><td>Bacharel</td><td>Mestrado</td><td>Doutorado</td><td>Aprendiz</td><td>Trabalhadores habilidosos</td><td>Sem habilidade</td><td colspan="3">Gestores</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Baixo</td><td>Médio</td><td>Top</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2.4</td><td>Grupo</td><td colspan="6">Homogênio</td><td colspan="10">Heterogênio (Nivel intelectual, hierarquico, Estudantes+colaborador, etc.)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.5</td><td rowspan="2">Industria Alvo</td><td colspan="2">Mecânica</td><td colspan="2">Automotiva</td><td colspan="2">Lgistica</td><td colspan="2">transporte</td><td colspan="3">FMCG</td><td colspan="4">Aeroespacial</td></tr>
<tr><td colspan="2">Indústria Química</td><td colspan="2">Eletônica</td><td colspan="2">Construção</td><td colspan="2">Bancos</td><td colspan="3">testil</td><td colspan="4">...</td></tr>
<tr><td>2.6</td><td>Assuntos relacionados ao Conteúdo</td><td colspan="2">Production mangt.</td><td colspan="2">Eficiencia de Reabastecimento</td><td colspan="2">Lean mgmt.</td><td>Automação</td><td colspan="3">WSD</td><td>HML</td><td>Design</td><td colspan="3">...</td></tr>
<tr><td>2.7</td><td>Função da FA para pesquisa</td><td colspan="6">Objeto de Pesquisa</td><td colspan="10">Facilitador de pesquisa</td></tr>
<tr><td>2.8</td><td>Tópicos da Pesquisa</td><td colspan="2">production mangt. & organização</td><td colspan="2">Eficiencia de Reabastecimento</td><td colspan="2">Automação</td><td colspan="2">Lean mgmt</td><td colspan="3">CPPS</td><td>HML</td><td colspan="3">...</td></tr>
</table>

Figura 9. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Objetivos e Metas

Adaptado de Tisch et al., (2015)

2.3.4.3. Processo

Na terceira de dimensão "Processo" do modelo de Descrição, os limites do sistema Potencial de Fábricas de Aprendizagem em relação ao produto, fábricas, tecnologia e ciclo de vida do pedido são descritos. Além disso, os processos e funções em detalhes em relação ao fluxo de material, o tipo de processo, a organização da manufatura, o grau de automação, os métodos de manufatura e tecnologia.

3,1	Cilco de vida do Produto	Planejamento da Produção	Desenvolvimento do produto	Desing do Produto	Protótipo rábido	Manufatura	montagm	Logística	Serviço	Reciclagem
3,2	Ciclo de vida FA	Planejamento de investimento	Conceito de fábrica	process planning	ramp-up				Manutenção	Reciclagem
3,3	Cilco de vida do pedido	Configuração & pedido	Sequenciamento de pedido	PCP					picking, packaging	Envio
3,4	Ciclo de vida da tecnologia	Planejamento	Desenvolvimento	Teste virtual					Manutenção	Modernização
3,5	Funções Indiretas	SCM	Vendas	Compra	HR	Finanças/Controle			QM	
3,6	Fluxo de material	Produção Contínua			Produção discreta					
3,7	Tipo de processo	Produção em Massa	Produção seriada		Produção seriada pequena	Produção única				
3,8	Organização de manufatura	Manufatura em local fixo	Fabricação em bancada de trabalho		workshop de manufatura	Fluxo de produção				
3,9	Grau de automação	Manual		Automação hybrida		Totalmente automatizada				
3,10	Método de manufatura	Corte	tra. Modelagem primária	Manufatura aditiva	Formas	Junção	revestimento	Mudança de propriedade de material		
3,11	Tecnologia de manufatura	Físico		Químico		Biológico				

Figura 10. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Processo

Adaptado de Tisch et al., (2015)

2.3.4.4. Cenário

A dimensão ambiente descreve o ambiente de aprendizagem representado e suas características. A ideia original por trás das fábricas de aprendizagem envolve um ambiente físico de fábrica onde os participantes podem experimentar e explorar. Aqui, ambientes de fabricação em tamanho natural e em escala reduzida são observados. Além disso, os processos de aprendizagem podem envolver representações virtuais e digitais de cadeias de valor agregado.

De acordo com a definição, uma fábrica de aprendizagem inclui mais de uma única estação de trabalho (Abele et al., 2015). Flexibilidade e mutabilidade são requisitos importantes para este ambiente de fabricação, uma vez que os *treinees* devem ser capazes de remoldá-los, assim como uma fábrica regular.

4,1	**Ambiente de Aprendizagem**	Puramente Físico		Físico auxiliado por tecnologia digital		Fluxo de valor físico de FA estendido irtualmente		Puramente Virtual	
4,2	**Escala de ambiente**	Reduzido				Tamanho natural			
4,3	**Níveis de sistema de trabalho**	Estação de trabalho		Sistema de trabalho		fábrica		network	
4,4	**Capacitadores de mutabilidade**	Mobilidade		Modulalidade		Compatibilidade		Escalabilidade	Universalidade
4,5	**Dimensões de mutabilidade**	layout e logística`		Característica do produto		Design do produto		Tecnologia	Quantidade do produto
4,6	**Integração de TI**	IT antes SOP (CAD, CAM, simulation)			IT depois SOP (PPS, ERP, MES)		IT depois da produção (CRM, PLM…)		

Figura 11. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Cenário.

Adaptado de Tisch et al., (2015)

2.3.4.5. Produto

Um produto é um instrumento funcional em toda FA e, por isso, deve apoiar a transferência de conhecimento por meio de suas características inerentes. Em diferença com um produto utilizado em uma fábrica padrão, o produto utilizado em uma FA e escolhido intencionalmente a partir de produtos existentes no mercado ou até mesmo é desenvolvido especificamente para a FA em questão (Mattermich et al., 2013; Tisch et al., 2015). Tisch et al., (2015) expressa que o produto possui impacto direto sobre a complexidade dos cenários de aprendizagem e sua duração, e que de igual modo, é também impulsionador dos custos, afetando os esforços para gerir a FA. O autor diz que ainda é comum o uso de produtos desmontáveis em FA ao redor do mundo, além disso, existem FAs que comercializam seus produtos finais.

5,1	**Materialidade**	Material				Imaterial		
5,2	**Forma do produto**	Carga geral				Carga a granel		
5,3	**Origem do produto**	Desenvolvimento prórpio			Desenvolvido pelos participantes		Desenvolvimento externo	
5,4	**Comercialização do produto**	Disponível no mercado		Disponível no mercado mas simplificado		Funcional (poderia estar disponível no mercado)		Sem aplicabilidade (meramente
5,5	**N. de produtos diferentes**	1 Produto	2 produtos	3-4 produtos	> 4 produtos	Flexível (depende dos participantes)		dependente de pedidos
5,6	**N. de variantes**	1 variante	2-4 variantes	4-20 variantes	…	Flexível		dependente de pedidos
5,7	**N. de componentes**	1 comp.	2-5 comp.	6-20 comp	21-50 comp.		51-100 comp.	> 100 comp.
5,8	**Mais usos do produto**	Re-uso/reciclagem		Exibição	Doado		vendido	Descartável

Figura 12. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Produto

Adaptado de Tisch et al., (2015)

2.3.4.6. Didática

Um componente global de todo o conceito de Fábrica de Aprendizagem é a didática. Apesar de que os métodos que envolvem a FA sejam focados para a orientação para a ação, também os métodos de ensino centrados no professor podem ser incorporados no conceito geral (Tisch et al., 2015).

6,1	Aula de competênci as	competências técnicas e metodologicas		Competências sociais e de comunicação		Competências pessoais		competências de implementação orientada e atividades				
6,2	Dimensões alvo de aprendizad	cognitiva			afetiva				psicomotor			
6,3	Estrtégia de cenário de apredizage	instrução		Demonstração		Cenário fechado			Cenário aberto			
6,4	Tipo de ambiente de	greenfield (desenvolvimento de um ambiente de fabricação)				brownfield (melhoramento de um abiente de fabricação)						
6,5	Canais de comunicaçã o	Aprendizado no local				conexão remota						
6,6	Dgraus de autonomia	Intruído			Autoguiado / Autorregulado				Autodeterminação / auto-organizado			
6,7	Papel do treinador	presentador		moderador		treinador			instrutor			
6,8	Tipo de treinament o	tutorial	curso prático no laboratório			seminário			workshop		projeto de trabalho	
6,9	Padronizaç ão de treinament	treinamento padronizado				treinamento personalizado						
6,10	fundament ação teórica	pré-requisto	antecipadamente			alternando com peças ráticas			baseado na demanda		mais tarde	
6,11	níveis de avaliação	feedback dos participantes	aprendizagem dos participantes		ransferência para fábrica real			impacto ecnonômicos dos treinamentos			retorno em treinamentos	
6,12	Avaliação de sucesso de	teste de relacionamento	teste de conhecimento			relatório escrito	apresentação oral			exame prático		nenhu m

Figura 13. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Didática.

Adaptado de Tisch et al., (2015)

2.3.4.7. Métricas

Finalmente, uma secção de métricas descreve números quantitativos facilmente verificáveis, como tamanho da área, número médio de participantes por treinamento e úumero de pesquisadores em tempo integral destinados a Fábrica de Aprendizagem.

7,1	**N. de participantes por treinamento**	1-5 Participantes	5-10 Participantes	10-15 Participantes	15-30 Participantes	>30 Participantes
7,2	**N.de treinamentos padronizados**	1 treinamento	2-4 treinamentos	5-10 treinamentos	> 10 treinamentos	
7,3	**Média de duração de um treinamento.**	< 1 day	1-2 Dias	3-5 Dias	5-10 Dias	10-20 Dias	> 20 Dias
7,4	**participantes por ano**	< 50 Participantes	50-200 Participantes	201-500 Participantes	501-1000 Participantes	> 1000 Participantes
7,5	**Capacidade de utilização**	< 10%	10 – 20%	21 – 50 %	51 – 75 %	76 – 100 %
7,6	**tamanho da FA**	< 100 m²	100 – 300 m²	300-500 m²	500-1000 m²	> 1000 m²
7,7	**FTE na Fa**	< 1	2-4	5-9	10-15	> 15

Figura 14. Morfologia das Fábricas de Aprendizagem - Métricas

Adaptado de Tisch et al., (2015)

2.3.5. O limite das Fábricas de Aprendizagem

É sabido que as fábricas de aprendizagem são sem dúvida uma arma poderosa tanto para o setor de educação quanto para produção. Contudo, em tempos atuais, as FAs ainda encontram limitações. Os autores Tisch e Mettermich (2017) citam que certas limitações para o conceito de fábrica de aprendizagem podem ser descritas, são elas:

- Recursos necessários para as fábricas de aprendizagem;
- Capacidade de mapeamento do problema nas FAs;
- Escalabilidade das abordagens das FAs;
- Mobilidade de abordagem das FAs;
- Eficácia.

Recursos Limitados: conceituar, construir e operar fábricas de aprendizagem consome inúmeros recursos. Recursos como equipamentos adequados, espaço físico, pessoal qualificado, assim como conteúdo de qualidade que possam ser demonstrados e experimentados na FA são obrigatórios. Na construção, como também na operação, qualquer

falta de recurso pode ser insuperável. Abaixo tem-se uma adaptação dos recursos mais necessários para as fábricas de aprendizagem segundo Tisch e Mettermich (2017).

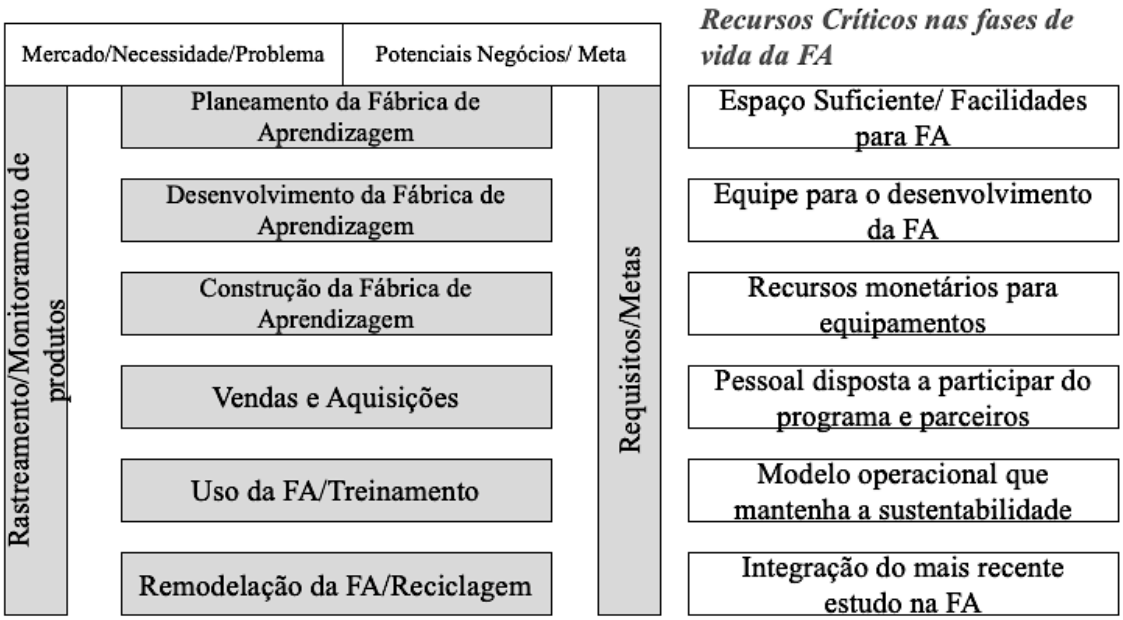


Figura 15. Recursos necessários ao longo do ciclo de vida da fábrica de aprendizagem

Adaptado de VDI (1992).

Capacidade de mapeamento limitada: como a fábrica de aprendizagem deve possuir a imagem de fábrica/indústria real, apresentam cenários e configuração física de layout de processos de produção real. Porém, uma fábrica de aprendizagem não é capaz de representar ou mapear de forma adequada todo ambiente que envolve uma fábrica, abordando todos os desafios encontrados na fábrica como um todo e não com parte. Fábricas de aprendizagem individuais precisam possuir ênfase em tópicos específicos (Abele et al., 2015). Os problemas de capacidade de mapeamento relacionados a espaço e custo surgem no nível de rede da fábrica. Logo, uma abordagem de fábrica de aprendizagem única é identificada como foco de mapeamento de redes globais de fábrica.

Além disso, as Fábricas de Aprendizagem possuem *loops* de *feedback* para ações que demoram muito. Não existe o artificio de "avanço rápido" como na simulação virtual. Os problemas com estes ciclos curtos de feedback são, por exemplo, desenvolvimento do produto, desenvolvimento de fornecedores, planos de manutenção, etc. Nestes casos, os treinamentos em fábricas de aprendizagem podem ser configurados, mas os ciclos de feedback devem ser simulados ou não podem ser concluídos.

Escalabilidade limitada: uma aula convencional, ou uma palestra por exemplo, podem ser ampliadas para diversas pessoas de forma simultânea. Para as fábricas de Aprendizagem, com um ou mais treinadores são limitadas para 10-15 participantes. Além do mais, a facilidade de aprendizagem da fábrica é outro fator de limitação. As FAs permitem geralmente um curso por vez.

Mobilidade limitada: as FAs são em sua maioria imóveis, construídas em locais específicos e fixos, disponíveis apenas em uma determinada região.

Eficácia limitada: muitas FAs são construídas para desenvolver habilidades e competências. Porém, sua eficácia não, ou raramente é examinada. O projeto de uma fábrica de aprendizagem requer tanto a consideração de metas quando uma fase de avaliação orientadas a metas.

2.3.6. O futuro das fábricas de aprendizagem

Nos tempos atuais, as fábricas de aprendizagem já possuem uma grande cobertura de amplas gamas de cenários onde é possível aplica-las. Para o futuro, é importante que as configurações de fábricas de aprendizagem eficazes e eficientes possam ser identificadas e desenvolvidas sistematicamente. Para tanto, é fundamental ser capaz de medir o sucesso de uma forma simples, porém válida. No que toca os processos de aprendizagem, as inovações desejáveis são: as fábricas de aprendizagem devem ser capazes de permitir uma aprendizagem individual para os participantes do treinamento, bem como serem virtuais, com o suporte da mídia digitais, com treinamentos remotos para aumentar a escalabilidade. As FAs devem estar mais ligadas a inovações (novos protótipos e tecnologia de produto, tecnologias e processos de produção). Com o objetivo de desenvolver ainda mais as possibilidades de FAs, os parceiros devem continuar compartilhando suas ideias em redes de boas práticas de aprendizagem em termos de educação e pesquisa (Abele et al., 2015).

2.4. Indústria 4.0

De uma forma geral, a indústria 4.0 abrange o desenvolvimento e integração de tecnologias de informações e comunicações na indústria. O principal objetivo é desenvolver

a rede inteligente de produtos e processos ao longo da cadeia de valor, permitindo assim uma utilização mais eficientes dos processos organizacionais, na criação de bens e serviços. Estas mudanças ligadas ao setor industrial são vistas como um paradigma abrangente, hoje denominado como quarta revolução industrial: indústria 4.0 (Reiner, 2014; Bartervyan, 2015).

A primeira referência à indústria 4.0 que se tem notícia foi em 2011, na feira de tecnologia industrial de Hannover (Bartervyan, 2015). Desde então, muitas empresas estão a desenvolver soluções para este novo conceito. Assim são os governos, em especial os países europeus (em destaque o governo alemão), EUA e Japão, reafirmando que esta nova era da indústria é vista como estratégica pelos principais *players* industrial (BARRETO, AMARAL E PEREIRA, 2017).

Em geral, o principal objetivo da indústria 4.0 é o surgimento da manufatura digital, também denominada como "fábrica inteligente", o que significa redes inteligentes, mobilidade, flexibilidade das operações industriais e sua interoperabilidade, integração com clientes e fornecedores e na adoção de modelos de negócios inovadores (Jazdi, 2014). A característica que define a quarta revolução industrial é a rede inteligente baseada em sistemas cyber físicos.

Os sistemas cyber físicos (*Cyber-physical Systems* – CPS) são sistemas físicos e projetados, cujas operações podem ser monitoradas, coordenadas, controladas e integradas por um sistema de computação e comunicação. O CPS envolve integração com o mundo físico e é composto por um conjunto de agentes em rede (Rajkumar et al., 2010). Estes agentes são constituídos de sensores, atuadores, unidades de processamento e dispositivos de comunicação (figura 16). O uso dos CPS vem contribuindo para o desenvolvimento de diversas novas aplicações em setores de produção, logístico, saúde, transporte e tantos outros.

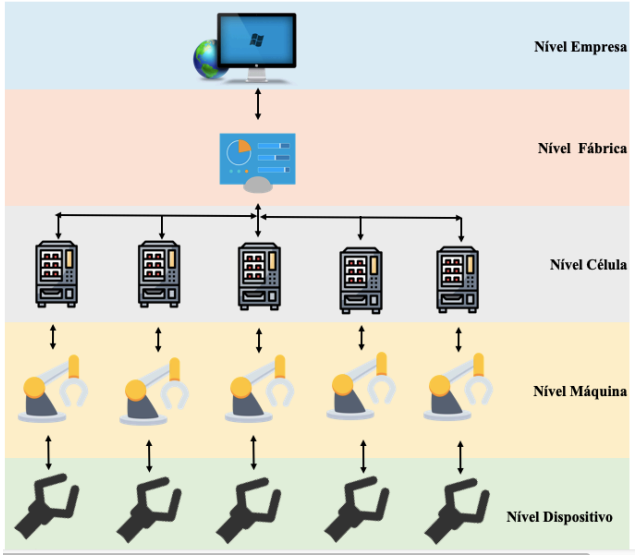


Figura 16. Sistema de controle distributivo

A internet das coisas (*internet of things*), também afetou a forma como o CPS pode interagir, ser monitorado, controlado e gerenciado. Logo, facilitar a integração de processos e sistemas entre setores e tecnologias, contribuindo para a melhor comunicação e cooperação entre eles, de forma mais inteligente, revolucionando produção, prestação de serviços, logística e planejamento de recursos de forma mais eficaz e econômica (Gilchrist, 2016; Baur, Wee, 2015; Koch et al., 2014). Estas tecnologias são demonstradas por ciclos curtos de produção, incorporação das necessidades dos clientes em tempo real, a manutenção é feita de forma automática e os pedidos são preenchidos, expedidos e despachados na ordem correta.

Além de tudo, do ponto de vista da estrutura organizacional, a indústria 4.0, inclui integração horizontal por meio de redes para facilitar uma cooperação interna, integração vertical de subsistemas dentro da fábrica para criar sistemas de manufatura flexíveis e adaptáveis, bem como a integração de engenharia em toda cadeia de valor a fim de permitir a customização do produto. A integração horizontal entre empresas e a integração vertical de uma produção dentro de uma fábrica são dois blocos de construção básicos para a integração de engenharia entre processos. Isto se dá, pois, o ciclo de criação do produto envolve várias etapas que devem ser realizadas em diferentes empresas. As conexões entre a tecnologia e serviços no conceito de indústria 4.0 está ilustrada na figura abaixo (Barreto, Amaral e Pereira, 2017).

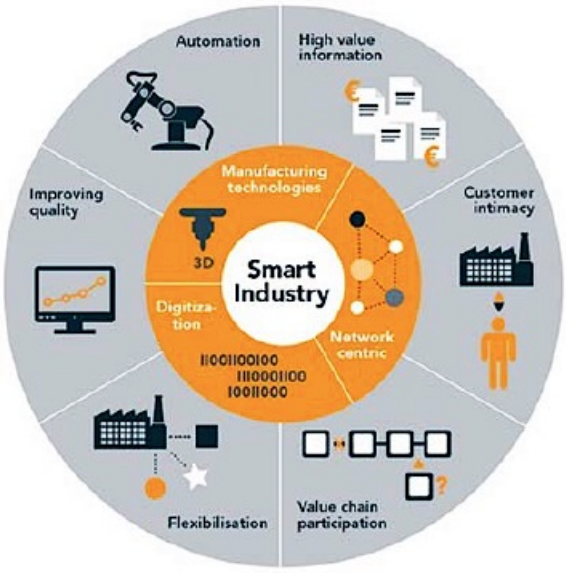


Figura 17. Conceito de Indústria 4.0

Barreto, Amaral e Pereira (2017)

2.4.1. Concepção histórica

Os séculos XX e XXI são idades onde a indústria de manufatura tem a sua importância. Na realidade, as indústrias passaram e ainda passam por três revoluções industriais (por vezes chamadas de indústrias 1.0, 2.0 e 3.0). A transição da sociedade agrícola para sociedade industrial é chamada de indústria 1.0, da indústria 1.0 para 2.0 e depois 3.0 foi bem reconhecida e aceita pela sociedade. Da mesma, forma a transição da indústria 3.0 para indústria 4.0 requer uma análise ampla para compreender as mudanças irreversíveis. De forma mais precisa, a primeira revolução industrial ocorreu na Inglaterra em meados do século XIII e foi fortalecido pela invenção da máquina a vapor. A indústria artesanal e o trabalho manual foram substituídos pela produção mecânica utilizando água e energia a vapor (Ślusarczyk, 2019).

Na segunda metade dos séculos XIX, ocorreu a segunda revolução industrial na Europa e nos EUA. Durante esta revolução, a produção em massa foi realizada com a ajuda de energia elétrica (Xu, Xu, e LI, 2018). Para atender a demanda crescente, foi desenvolvida uma gama de tecnologia na indústria e mecanização, com uma linha de montagem com operação automatizada, permitindo um aumento de desempenho. Nesse período, também surgiram uma serie de programas de gestão que permitiram aumentar a eficiência das fábricas. Por fim, os princípios *just-in-time* (JIT) e de manufatura enxuta, refinaram ainda mais o

modo de como as empresas poderiam melhorar a qualidade de produção (Bigliardi, Bottani e Casella, 2019).

A terceira revolução industrial aconteceu em meado do século XX e foi esta que introduziu a automação e tecnologias microeletrônicas de fabricação. Estes avanços de tecnologias estão intimamente ligados com novas tecnologias de informação (*Information and Communications Technology* – ICT). Na terceira revolução, industrial o avanço das ICTs estava no centro de toda grande mudança na indústria (Xu, Xu, e LI, 2019). O desenvolvimento de novas tecnologias vem sendo o grande principal motor para o desenvolvimento do conceito de indústria 4.0. (Bigliardi, Bottani e Casella, 2019)

Conceitos como sistema de execução de manufatura, gerenciamento de chão de fábrica e análise de ciclo de vida do produto eram todos conceitos que careciam de tecnologias necessárias para suas implementações. Agora, todos esses indicadores de controle podem ser utilizados de forma eficaz através das tecnologias da indústria 4.0

2.4.2. Tecnologias da indústria 4.0

De acordo com Bai et al., (2020) as tecnologias utilizadas na indústria 4.0 podem ser classificadas em tecnologias físicas e digitais. Gibson et al., (2014) admite que as tecnologias físicas se referem principalmente a tecnologias de manufatura, como manufatura aditiva, ou sensores e *drones*. As tecnologias digitais referem-se principalmente às tecnologias de informação, como computação na nuvem, *blockchain*, análise de *big data* e simulação (Liao et al., 2017). A tabela 1 sintetiza diversas tecnologias empregadas na indústria 4.0 (Dalenogare et al., 2018; Lu, 2017; Wan et al., 2015; Posada et al., 2015).

Tabela 1. Tecnologias da indústria 4.0.

Adaptado de Bai et al. (2020)

Tecnologia	Definição
Fabricação de aditivos (impressao 3D)	é uma tecnologia de fabricação que cria três objetos sólidos dimensionais (3D) usando uma série de frameworks de desenvolvimento aditivos ou em camadas
Inteligência artificial	é uma área da ciência da computação que enfatiza o criação de máquinas inteligentes que funcionam e reagem como humanos.
Realidade aumentada	é um tipo de display interativo baseado na realidade ambiente que usa os recursos do computador display gerado, som e outros efeitos para melhorar a experiência do mundo real.
Robôs autônomos (Robótic	são usados para replicar as ações humanas na fabricação.
Big data e análises	referem-se à estratégia de análise de grandes volumes de dados que são usados na mineração de dados tradicional e técnicas de manuseio não podem revelar os insights e significado dos dados subjacentes.
Blockchain	é um banco de dados distribuído que mantém um completo, distribuído e sem adulteração crescendo continuamente lista de registros usando nova criptografia e tecnologia de autenticação e em toda a rede mecanismo de consenso
Nuvem	refere-se a quaisquer serviços de TI que são provisionados e acessado de um provedor de computação em nuvem. Sistemas cobóticos é um robô destinado a interagir fisicamente com humanos em um espaço de trabalho compartilhado
Ciber segurança	refere-se a métodos preventivos usados para proteger informações de serem roubadas, comprometidas ou atacado
Veículo aéreo não tripulado (Drones)	é uma aeronave sem um piloto humano a bordo, e comumente conhecido como drone
Sistema de Posicionamento Global (GPS)	é uma maravilha técnica possibilitada por um grupo de satélites na órbita da Terra que transmitem sinais precisos, permitindo que os receptores GPS calculem e exibam informações precisas de localização, velocidade e tempo para o do utilizador
Internet Industrial de Coisas	é a integração da tecnologia de comunicação sem fio com base nos dispositivos sem fio
Nanotecnologia	também agora conhecido como nanotecnologia molecular, é a tecnologia específica para controlar átomos individuais e moléculas para fabricação de produtos em macroescala
Sensores e atuadores	é um dispositivo que responde a um estímulo físico (como como calor, luz, som, pressão, magnetismo ou um movimento particular) e transmite um impulso resultante (como para medição ou operação de um controle)
Simulação	refere-se a tecnologias que usam o computador para o imitação de um processo ou sistema do mundo real.

2.4.3. Desafios da indústria 4.0

A descoberta de novas tecnologias fez com que o desenvolvimento da indústria desde a adoção inicial de sistemas mecânicos e linhas de montagem altamente automatizado, pudesses ser responsivo e adaptável aos atuais requisitos da demanda dinâmica do mercado. Desafios como incorporação, previsibilidade, flexibilidade e robustez para condições inesperadas (Wang, Wan, Li, 2016). Existem alguns desafios que segundo Vaidya, Ambad e Bhosle (2018) ocorrem durante a fase de implementação de uma indústria 4.0. São eles:

- Mecanismo de decisão e negociação inteligente: o sistema de manufatura inteligente precisa de mais autonomia e recursos de sociabilidade como fatores-chave dos sistemas auto organizados, enquanto o sistema de hoje tem capacidade 3C, falta autonomia dos sistemas (Vaidya, Ambad e Bhosle, 2018).
- Protocolos de IWN de alta velocidade: a rede IWN utilizada hoje não fornece banda larga suficiente para comunicação pesada e transferência de alto volume de dados.
- Big data e análise específica de manufatura: é um desafio garantir a alta qualidade e integridade dos dados registrados do sistema de manufatura. As anotações das entidades de dados são muito diversas e é um desafio crescente incorporar diversos repositórios de dados com semânticas diferentes para análises de dados avançadas (Thoben, Wiesner, Wuest, 2017).
- Segurança cibernética: com o aumento da conectividade e uso de protocolos de comunicação padrão oriundo da indústria 4.0, a necessidade de proteger sistemas industriais críticos, linhas de fabricação e dados do sistema contra ameaças de segurança cibernética aumenta drasticamente (Vaidya, Ambad e Bhosle, 2018).
- Artefatos físicos modularizados: ao processar um produto ou equipamento para a usinagem ou teste, deve ser agrupado e trabalhado em conjunto para a tomada de decisão distribuída. Portanto, existe a necessidade de criar uma unidade de transporte modularizado e inteligente que possa reconfigurar dinamicamente as rotas de produção (Vaidya, Ambad e Bhosle, 2018).

- Questões de investimento: a questão de investimento é um problema geral para a maioria das novas iniciativas de tecnologia na manufatura. O investimento 4.0 é inicialmente uma PME. A implementação de todos os pilares da indústria 4.0 requer uma grande quantidade de investimento para uma indústria (Valdeza et al., 2015).

2.4.4. Industria 4.0 e a produtividade de países ao redor do mundo

A produtividade de uma empresa de manufatura no contexto da indústria 4.0 é analisada citando alguns exemplos de países desenvolvidos (Nova Zelândia e Coreia do Sul) e de países em desenvolvimento (Brasil, China, Índia e Malásia).

Na Nova Zelândia, uma pesquisa distribuída aos membros da associação de fabricantes e exportadores (*New Zealand Manufacturers and Exporters Association* – NZMEA) resultou em 43 respostas de pequenas e médias empresas. Através da indústria 4.0, 36% dos entrevistados indicam que esperam reduzir seus custos de operação como resultado do aumento da produtividade (Hamzeh, Zhong, Xu, 2018).

Na Coréia, as Tecnologias de Informação e Comunicação – TICs avançadas são uma parte central das tecnologias da indústria 4.0. A relação entre a utilização da TICs e o crescimento da produtividade foi pesquisada de 1996 a 2015 na Coreia do Sul. 18% do crescimento da produtividade de 1996-2005 e 14% de 2006-2015 está ligada ao investimento em TIC. Um enfraquecimento do investimento em TIC no período de 2006-2015 tem sido relacionado ao declínio do crescimento da produtividade da indústria de transformação (Chung, 2018).

Estudos quantitativos realizados em 2016 no Brasil, identificam uma relação entre as tecnologias da indústria 4.0 e a produtividade. Uma pesquisa em grande escala realizada pela CNI em 2016 com 2.225 entrevistados de empresas brasileiras, indica que a indústria 4.0 aumentou a produtividade operacional. Sistemas com controles sob a manufatura, bem como sensores e análise de big data, foram identificados como tendo resultados positivos na indústria (Backhaus, Nadarajah, 2019).

Na China, o termo indústria 4.0 não é usado para as empresas de manufatura. *Made-in-china* 2025 é promovido ao invés de indústria 4.0. Não obstante, as tecnologias

descritas são idênticas, assim como o objetivo de melhorar a produtividade. O foco está em desenvolver robôs industriais e em *internet of things* (Backhaus, Nadarajah, 2019).

Na Índia, a indústria 4.0 é abordada em campanhas como "*Make in India*" e "*Skill India*". As tecnologias da indústria 4.0 desempenham um papel central no aumento da profundidade tecnológica, agregação de valor e aumento da competitividade no setor. Foi identificada uma relação positiva entre a indústria 4.0 e a competitividade, porém, não foi estabelecida uma ligação entre a produtividade e a indústria 4.0 (Backhaus, Nadarajah, 2019)..

No que toca a Malásia, as tecnologias de comunicação e informação de rede inteligente com relação a indústria 4.0 aumentam a produtividade através do aumento da flexibilidade dos recursos de fabricação. Os dados primários da Malásia foram coletados em 2017, relacionando a computação em nuvem nas empresas de manufatura com a produtividade, entre outros. 188 entrevistados descreveram a computação em nuvem, em geral, como útil para obter ganhos no desempenho no trabalho e aumentar a produtividade (Ooi et al., 2018)].

3.METODOLOGIA

No presente capítulo, será realizado em primeiro lugar a caracterização da Fábrica de Aprendizagem do laboratório de EGI no departamento de Engenharia Mecânica – DEM, assim como os pontos fortes e oportunidades de melhoria no que diz respeito ao seu produto já existente e toda tecnologia que envolve a FA e seu processo de montagem. Posterior a isto, será concebido uma análise comparativa da fábrica de aprendizagem em relação às fabricas de aprendizagem ao redor do mundo, destacando aspectos positivos e negativos. Por fim, baseando-se na análise comparativa será proposto um novo produto para ser montado na fábrica.

3.1. Morfologia da Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI

Conforme Tish et al., (2015), os quais desenvolveram baseado em Abele, o método de descrição de fábricas de aprendizagem multidimensional. Este conceito de descrição é adequado, pois permite descrever de forma minuciosa todas as características contidas na fábrica de aprendizagem. O método utiliza 59 características dividindo-se em 7 dimensões listadas abaixo:

- Modelo operacional;
- Objetivos e metas;
- Cenário;
- Produtos;
- Didáticas;
- Métricas.

3.1.1. Modelo operacional

A Fábrica de Aprendizagem foi desenvolvida e administrada por alunos e professores de Engenharia e Gestão Industrial – EGI, de programa de licenciatura, mestrado e/ou doutorado. Como a fábrica está disponível para treinamentos internos, aberta no presente momentos apenas para vistas externas, o modelo de negócios é fechado, restrito para

aulas e atividades complementares. Os cursos deverão ser ministrados por professores, alunos pesquisadores da área e estudantes auxiliares. A sustentabilidade da operação é garantida através de recursos próprios oriundos da universidade.

<table>
<tr><td rowspan="2">1.1</td><td colspan="4">Instituição Acadêmica</td><td colspan="6">Associação não Acadêmica</td><td colspan="2">Operador Orientado a Lucro</td></tr>
<tr><td>Operador</td><td>Universidade</td><td>Faculdade</td><td>BA</td><td>Escola Vocacional</td><td>Câmara</td><td>União</td><td>Associação de Empregados</td><td>Rede Industrial</td><td>Consultor</td><td>Compnhia</td></tr>
<tr><td>1.2</td><td>Treinador</td><td colspan="2">Professor</td><td>Pesquisador</td><td>Estudante Asistente</td><td>Técnico Expert/ Especialista</td><td colspan="3">Consultora</td><td colspan="2">Educacionalista</td></tr>
<tr><td>1.3</td><td>Desenvolvimento</td><td colspan="3">Própriro desenvlvimento</td><td colspan="3">Assistencia Externa p/ Desenvolviento</td><td colspan="4">Desenvolvimento Externo</td></tr>
<tr><td>1.4</td><td>Fundo Inicial</td><td colspan="3">Fundos Internos</td><td colspan="5">Fundos Públicos</td><td colspan="2">Fundo de Companhias</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>Fundos em Curso</td><td colspan="3">Fundos Internos</td><td colspan="5">Fundos Públicos</td><td colspan="2">Fundo de Companhias</td></tr>
<tr><td>1.6</td><td>Fundos em Continuação</td><td colspan="3">Fundos de Curto Prazo (Evento único)</td><td colspan="5">Fundos de Médio Prazo (< 3 anos)</td><td colspan="2">Fundos de Longo prazo (> 3 anos)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.7</td><td rowspan="2">Modelo de negócios para treinamento</td><td colspan="4">Modelos Aberto</td><td colspan="5" rowspan="2">Modelos Fechados (Treinamento apenas para uma única companhia)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Modelo de Clube</td><td colspan="2">Taxa de Curso</td></tr>
</table>

Figura 18. Modelo Operacional da Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI

3.1.2. Objetivos e metas

O principal objetivo da fábrica em questão é o desenvolvimento de alunos e, porventura, auxiliar na demonstração de *cases* hipotéticos para ilustrar em feiras e eventos, bem como o desenvolvimento de pesquisa como esta. A *priori*, não se sabe de intensões para abertura da FA do Lab-EGI para parcerias industrias, muito embora esta possua total capacidade para receber projetos em dimensões adequadas. Ainda que neste método de descrição multidimensional haja a descrição da indústria alvo, a fábrica em questão ainda não possui um foco de atuação no setor industrial. Os assuntos relacionados a fábrica são especialmente o Gerenciamento da Produção, Produção Enxuta e Eficiência de Reabastecimento. No que toca a função da Fábrica de Aprendizagem, esta poderá ser usada como objeto de pesquisa, como do presente projeto, ou como uma ferramenta de pesquisa.

<table>
<tr><td>2.1</td><td>Propósito Principal</td><td colspan="4">Educação</td><td colspan="3">Treinamento de Verão</td><td colspan="5">Pesquisa</td></tr>
<tr><td>2.2</td><td>Propósito Secundário</td><td>Ambiente de teste / ambiente piloto</td><td colspan="4">Produção Industrial</td><td colspan="4">Transferencia de Inovação</td><td colspan="4">Propaganda para produção</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.3</td><td rowspan="2">Grupos alvos para educação e treinamento</td><td rowspan="2">Alunos</td><td colspan="3">Estudantes</td><td colspan="5">Colaborador</td><td rowspan="2">Empreendedor</td><td rowspan="2">Freenlancer</td><td rowspan="2">Desempregado</td><td rowspan="2">Aberto ao público</td></tr>
<tr><td>Bacharel</td><td>Mestrado</td><td>Doutorado</td><td>Aprendiz</td><td>Trabalhadores habilidosos</td><td>Sem habilidade</td><td>Gestores</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Baixo</td><td>Médio</td><td>Top</td></tr>
<tr><td>2.4</td><td>Grupo</td><td colspan="5">Homogênio</td><td colspan="8">Heterogênio (Nivel intelectual, hierarquico, Estudantes+colaborador, etc.)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.5</td><td rowspan="2">Indústria Alvo</td><td colspan="2">Mecânica</td><td colspan="2">Automotiva</td><td colspan="2">Lgistica</td><td colspan="3">transporte</td><td colspan="2">FMCG</td><td colspan="4">Aeroespacial</td></tr>
<tr><td colspan="2">Indústria Química</td><td colspan="2">Eletônica</td><td colspan="2">Construção</td><td colspan="3">Bancos</td><td colspan="2">testil</td><td colspan="4">...</td></tr>
<tr><td>2.6</td><td>Assuntos relacionados</td><td colspan="3">Production mangt.</td><td colspan="2">Eficiencia de Reabastecimento</td><td colspan="2">Lean mgmt.</td><td>Automação</td><td colspan="3">WSD</td><td>HML</td><td>Desig n</td><td colspan="3">...</td></tr>
<tr><td>2.7</td><td>Função da FA para pesquisa</td><td colspan="6">Objeto de Pesquisa</td><td colspan="7">Facilitador de pesquisa</td></tr>
<tr><td>2.8</td><td>Tópicos da Pesquisa</td><td colspan="3">production mangt. & organização</td><td colspan="2">Eficiência de Reabastecimento</td><td colspan="2">Automação</td><td colspan="3">Lean mgmt</td><td colspan="2">CPPS</td><td>HML</td><td colspan="3">...</td></tr>
</table>

Figura 19. Objetivos e metas da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI

3.1.3. Processo

O processo de produção de uma Fábrica de Aprendizagem – assim como em um ambiente real de fabricação, deve-se incorporar partes holísticas significativas para o produto, fábrica e ciclo de vida do pedido. No que se refere ao ciclo de vida da FA do LaB-EGI, o foco é centrado no desenvolvimento de conceitos como sequenciamento de pedido, bem como o noção de Planejamento e Controlo da Produção – PCP, *Ramp-up* e, por fim, montagem. Algumas atividades despertam de forma inerente outros conceitos, como os de *Supply Chain*, o qual está diretamente atrelado com o conceito de PCP. No que toca o fluxo de materiais, a produção deve ser considerada discreta com operações manuais, principalmente em bancadas de trabalho.

3,1	**Cilco de vida do Produto**	Planejamento de Produto	Desenvolvimento do produto	Desing do Produto	Protótipo rápido	Manufatura	Montagm	Logística	Serviço	Reciclagem
3,2	**Ciclo de vida FA**	Planejamento de investimento	Conceito de fábrica	*Process Planning*	*Ramp-up*				Manutenção	Reciclagem
3,3	**Cilco de vida do pedido**	Configuração & pedido	Sequenciamento de pedido	PCP					picking, packaging	Envio
3,4	**Ciclo de vida da tecnologia**	Planejamento	Desenvolvimento	Teste virtual					Manutenção	Modernização
3,5	**Funções Indiretas**	SCM	Vendas	Compra	HR		Finanças/Controle		QM	
3,6	**Fluxo de material**	Produção Contínua			Produção discreta					
3,7	**Tipo de processo**	Produção em Massa	Produção seriada		Produção seriada pequena		Produção única			
3,8	**Organização de manufatura**	Manufatura em local fixo	Fabricação em bancada de trabalho		workshop de manufatura		Fluxo de produção			
3,9	**Grau de automação**	Manual		Automação hybrida			Totalmente automatizada			
3,10	**Método de manufatura**	Corte	trad. Modelagem primária	Manufatura aditiva	Formas	Junção	revestimento	Mudança de propriedade de material		
3,11	**Tecnologia de manufatura**	Físico		Químico			Biológico			

Figura 20. Processos da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI

3.1.4. Cenário

A fábrica do laboratório de EGI é suportada por um ambiente mesclado, onde a tecnologia possui o trabalho de auxiliar o processo de montagem do produto – em particular no controle de reposição de componentes de montagem. Os níveis de sistema de trabalho da fábrica em tamanho reduzido conta com três estações totais de trabalho, as quais possuem capacidade de mutabilidade e mobilidade, uma vez que é possível alternar para um, dois ou três estações de trabalho.

4,1	**Ambiente de Aprendizagem**	Puramente Físico	Físico auxiliado por tecnologia digital	Fluxo de valor físico de FA estendido irtualmente	Puramente Virtual	
4,2	**Escala de ambiente**	Reduzido		Tamanho natural		
4,3	**Níveis de sistema de trabalho**	Estação de trabalho	Sistema de trabalho	Fábrica	*Network*	
4,4	**Capacitadores de mutabilidade**	Mobilidade	Modulalidade	Compatibilidade	Escalabilidade	Universalidade
4,5	**Dimensões de mutabilidade**	layout e logística	Característica do produto	Design do produto	Tecnologia	Quantidade do produto
4,6	**Integração de TI**	TI antes SOP (CAD, CAM, simulation)		TI depois SOP (PPS, ERP, MES)	TI depois da produção (CRM, PLM…)	

Figura 21. Cenário da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI

3.1.5. Produto

O produto montado é desenvolvido em sua maioria por participantes de projetos de pesquisa e não possui outra aplicabilidade além da aplicada no laboratório. Este produto possui 3 variações de cores (branco, amarelo e azul) contendo um total de 49 componentes, com apenas uma variação de montagem.

5,1	**Materialidade**	Material			Imaterial		
5,2	**Forma do produto**	Carga geral			Carga a granel		
5,3	**Origem do produto**	Desenvolvimento prórpio		Desenvolvido pelos participantes		Desenvolvimento externo	
5,4	**Comercializaç ão do produto**	Disponível no mercado	Disponível no mercado mas simplificado	Funcional (poderia estar disponível no mercado)		Sem aplicabilidade	
5,5	**N. de produtos diferentes**	1 Produto	2 produtos	3-4 produtos	> 4 produtos	Flexível (depende dos participantes)	dependente de pedidos
5,6	**N. de variantes**	1 variante	2-4 variantes	4-20 variantes	…	Flexível	dependente de pedidos
5,7	**N. de componentes**	1 comp.	2-5 comp.	6-20 comp	21-50 comp.	51-100 comp.	> 100 comp.
5,8	**Mais usos do produto**	Re-uso/reciclagem	Exibição	Doado		vendido	Descartável

Figura 22. Produto da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI

3.1.6. Didática

Como descrito em capítulos anteriores a este, a fábrica de aprendizagem do laboratório de EGI não possui aplicação prática até o momento. Nos dias que correm, a fábrica tem sido utilizada somente no âmbito de pesquisas e projetos. Por este motivo, a dimensão "Didática" será descrita em capítulos posteriores como parte da proposta do presente projeto.

3.1.7. Métricas

A dimensão "Métricas" enquadra-se na mesma conjuntura do capítulo anterior e, de igual modo, será descrita em um capítulo posterior.

3.2. Produto do Lab- EGI

O produto utilizado como objeto de montagem no laboratório de EGI não dispõe de outra funcionalidade diferente desta de apoio à objeto de estudo. De igual modo, este também não possui denominação específica, porém em outros projetos foi chamado de "Talocha" e, a fim de evitar confusões, utilizar-se-á o mesmo nome.

A Talocha é composta por 49 componentes, os quais se dividem em tubos, juntas e parafusos, estando subdivididos em 3 etapas de montagem. Outro item de destaque é o gabarito que, de igual modo, foi desenvolvido em projetos anteriores a este. Este gabarito, como o nome sugere, possibilita a afixar os componentes de forma mais ágil e assertiva, evitando que os 49 componentes se dispersem sobre a bancada de trabalho.

Há de salientar que esta secção será introdutória, e que não foi idealizada pelo autor deste projeto, mas por trabalhos realizados em momentos passados, por isso serão utilizadas nomenclaturas já normalizadas no laboratório de EGI e que serão expostas com objetivo de explicar de forma mais clara o produto em foco.

Abaixo é ilustrado a figura representativa do produto e gabarito em questão.

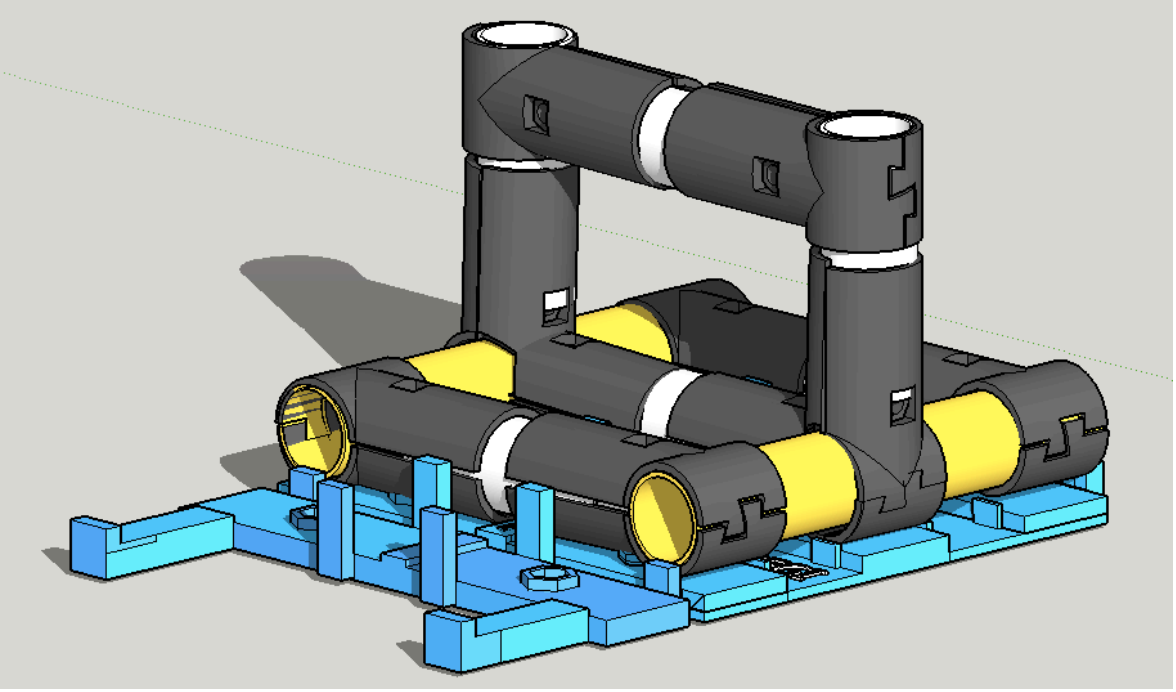


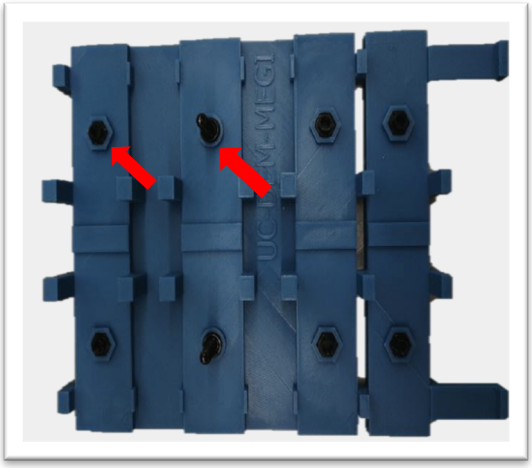
Figura 23. Talocha

3.2.1. Processo de Montagem

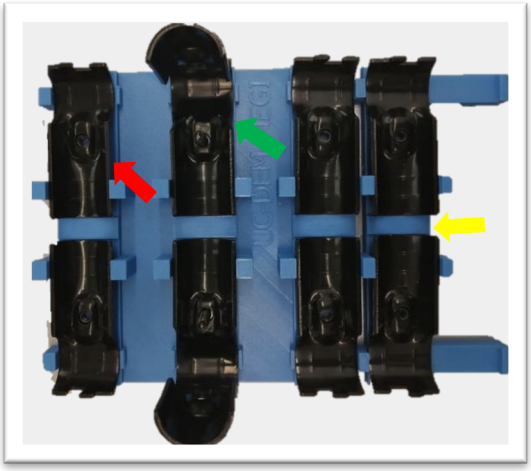
O processo de montagem é, de forma relativa, bem simples e intuitivo. Este é realizado inteiramente de forma manual, e ao realizar o aperto dos parafusos é possível utilizar uma ferramenta de aperto automático ou manual. A montagem conta com 7 etapas principais, as quais estarão descriminadas nas intruçoes de montagem a seguir. Estas etapas foram definidas em projetos antecedentes a este, bem como a forma mais eficaz de montagem, baseando-se nos tempos de ciclo e balanceamento de linha de montagem.

O objetivo desta secção não é, de forma alguma, esclarecer conceitos do processo de montagem, tempos de ciclo, sequenciamento de linha, e outros. Estes conceitos serão debatidos em atividades supervisionadas por professores ou qualquer outro moderador que estará presente na Fábrica de Aprendizagem. O objetivo desta seção é expor o processo de montagem feito no laboratório de forma concisa, uma vez que todos os processos listados a seguir estão presentes na própria fábrica do laboratório, está secção alicerçará o subcapítulo subsequente, o qual fará uma análise do processo de montagem no produto de que se fala.

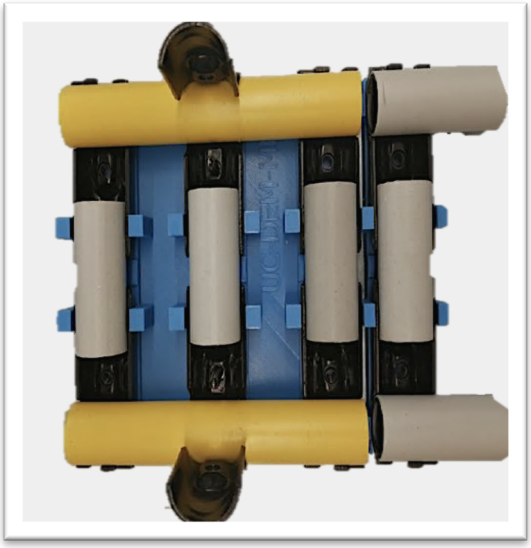
Segue abaixo o processo de montagem da Talocha:



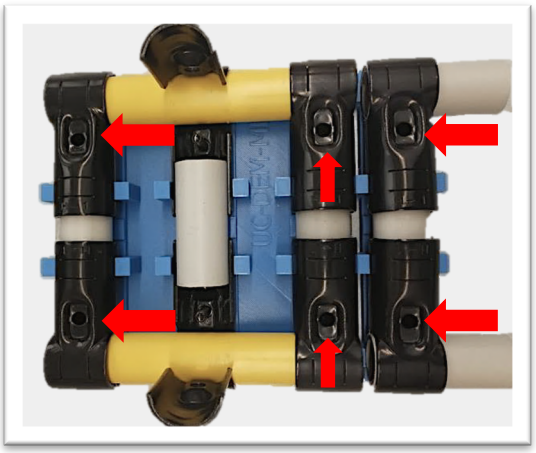
Passo 1: Encaixar porcas e parafusos no Gabarito.



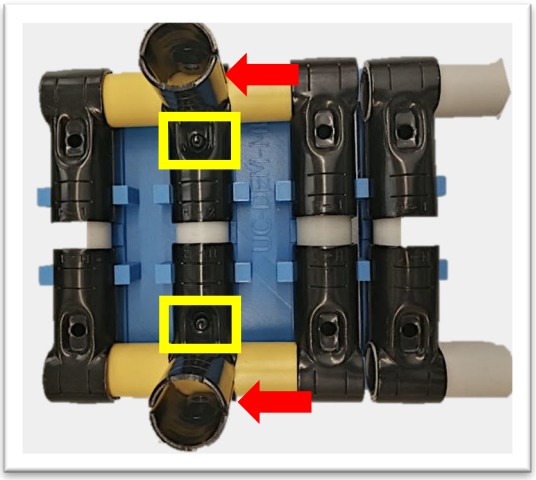
Passo 2: inserir as juntas em metal – 6 juntas (vermelho) e 2 juntas angulares (verde) entre os parafusos e brocas. Observação: as juntas devem estar rentes ao divisor do meio (marcado em amarela).



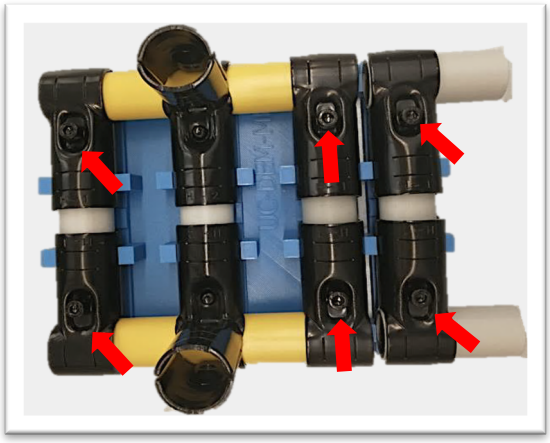
Passo 3: Encaixe dos 8 tubos. Observação: ao encaixar os tubos, não deve existir folgas entre as juntas em metal e os mesmos.



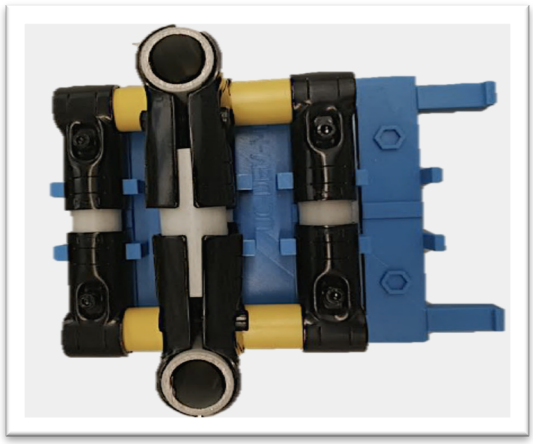
Passo 4: Realizar a sobreposição das juntas em metal (6 peças) em relação aos tubos.



Passo 5: sobrepor 2 juntas angulares (seta vermelha) e inserir as porcas (quadro amarelo).



Passo 6: apertar os parafusos contidos nas juntas em metal, com exceção da junta angular. Obs: a broca da junta angular não deve ser parafusada, pois dificultaria a inserção do punho.



Passo 7: encaixar o punho e apertar o parafuso lateral da junta angular em metal

3.2.2. Avaliação do Produto e Processo de Montagem

O produto utilizado é relativamente fácil de ser montado, devido ao número restrito de componentes, o que facilita a tarefa do mediador e dos operadores (alunos) que atuam e atuarão na fábrica de aprendizagem. Outro ponto notável, é o gabarito em que se posicionam os componentes, este gabarito proporciona que as peças sejam afixadas nos locais certos e, se por ventura, o operador tentar usa-las onde supostamente não deve, o componente naturalmente não irá encaixar no componente subsequente. Este sistema é similar ao conceito à prova de erros (*POKA-YOKE*).

Outro tópico considerável em relação ao produto e seu processo de montagem, é que estes não requerem tecnologias como aparafusadoras e outras ferramentas para realizar a montagem. A Talocha – apesar do laboratório possuir uma aparafusadora elétrica, poderia ser montada de forma manual e com chaves de enroscar.

A Talocha pode ser considerada como um produto bastante resistente, haja em vista que todos seus 49 componentes são feitos de metais. Isto não só agiliza o processo de montagem, uma vez que o operador não precisa temer a quebra do componente no qual está montando, como também evita o desgaste devido ao excesso de montagem e desmontagem. Aliás, neste ponto nota-se outra qualidade do produto. A peça montada no laboratório de EGI, possibilita sua montagem e desmontagem diversas vezes, sendo assim, artigos totalmente reaproveitáveis. Isto assegura que não será necessário adquirir novos componentes todas as vezes em que a fábrica estiver prestes a operar.

Entretanto, faz-se necessário realizar algumas ponderações em relação ao produto montado no laboratório e seu processo de montagem. A princípio, em certas etapas do processo de encaixe e aperto dos parafusos, é necessário possuir uma certa destreza para que o produto saia em conformidade. Na etapa de número 7, ao colocar o punho, é exigido a inserção de parafuso e aperto da broca, porém uma vez que o espaço entre o punho e a estrutura formada em baixo é bastante reduzido, um operador com mãos maior que o normal, ou qualquer pessoa que não tenha habilidade com as mãos terá dificuldade em realizar esta etapa do processo. À outros olhos, este ponto pode não demonstrar ser um problema grande, no entanto, diferente de um processo de fabricação real, onde existe uma norma de recrutamento, em que é exigido – na maioria dos casos – experiência na área de atuação, na fábrica de aprendizagem do laboratório de EGI, não é possível exigir de certos operadores (na maioria alunos) habilidades que diferem das unidades curriculares. Por isso, alguns alunos que não tiverem destreza, terão certamente, dificuldade ao montar a Talocha.

A figura abaixo ilustra o ponto onde, eventualmente os operadores poderão ter dificuldade.

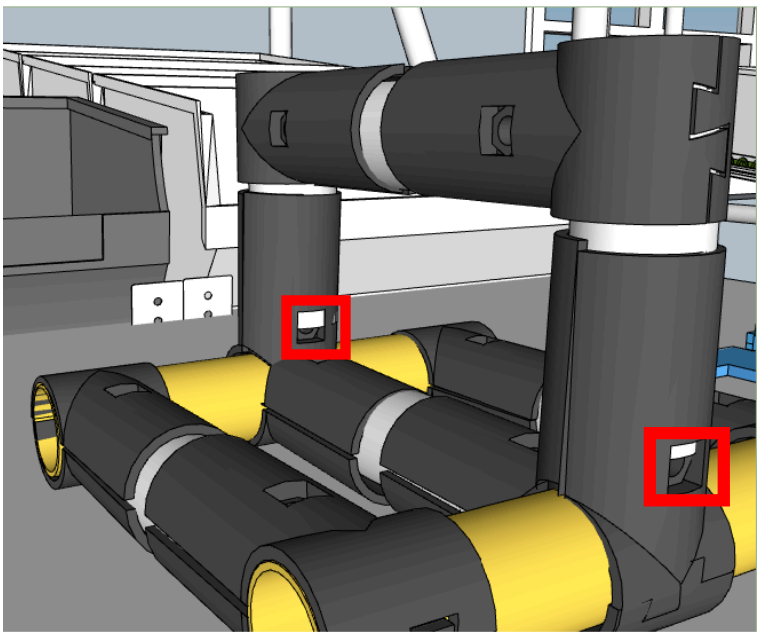


Figura 24. Eventual ponto crítico no processo de montagem do produto

Outra questão que deve ser levado em conta, é o retrabalho após o fim das 7 etapas de montagem. Como é possível notar na etapa 1, são colocadas 6 porcas e 2 parafusos, os quais são utilizados para realizar o perto das juntas angulares em metal. Já na etapa 5, é possível notar (quadrados em amarelo) que, além dos parafusos, são inseridas duas porcas. Estas porcas são enroscadas superficialmente, já que ao usar as mãos, não se tem torque,

tampouco aderência para enrosca-las até o limite esperado. Por isso, o que ocorre é a geração de um retrabalho, uma vez que é necessário – ao completar todas as etapas – retirar a peça do gabarito, virá-la de ponta a cabeça e apertar os dois parafusos que restam. A figura 26 indica o ponto em que o retrabalho acontece.

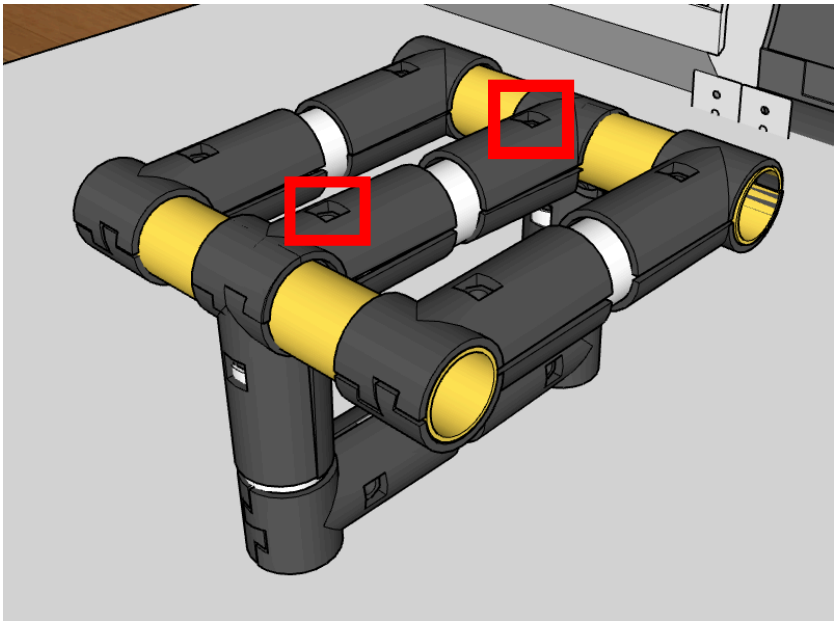


Figura 25. Ponto de retrabalho Talocha

Decerto, entre todas as considerações feitas acima, a falta de funcionalidade para o produto montado na fábrica de aprendizagem no laboratório de EGI é a mais significativa. Algumas das mais prestigiadas Fábricas de Aprendizagem (*Learning Factory*) do mundo, montam ou fabricam produtos que, de alguma, forma possuem aplicabilidade. A seguir, estarão listadas fábricas de aprendizagem que produzem produtos funcionais, bem como seus respectivos produtos.

Tabela 2. Exemplos de Fábricas de Aprendizagem e produtos funcionais.

Instituição	Produto
WZL, RWTH Aachen, Germany	GO Kart & e.GO Life (Veículos de E- Mobilidade)
Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg, Institute FAPS	Motores Elétricos
ESB Business School, Reutlingen University	Scooter para cidade e acessório
Festo Learning Factory Scharnhausen	Válvulas pneumáticas e terminais de válvula
Manufacturing Systems Center, University of Windsor, Canada	Família de mesa e família de tensor de correia
LPE & LPS, Rurh-University Bochum	Perfuradora de percussão

A ausência de aplicabilidade para o produto da fábrica do Lab-EGI, não implica em perda de competência no processo de aprendizagem, ou mesmo insignificância em relação às outras fábricas de aprendizagem ao redor do mundo. Contudo, a produção de produtos reais, onde os alunos possam idealizar aplicação do produto, assim como compreender a função de cada componente inserido, pode, de certa forma, ajudar no processo de aprendizagem.

3.3. Tecnologia Lab-EGI

A fábrica de aprendizagem do laboratório de EGI conta, hoje, com um leitor de código de barras similar ao da imagem 27. Os benefícios de usar leitor de código de barras, segundo Noraziah (2011), são muito simples: velocidade e precisão. Segundo a autora, já foi provado por diversas vezes que os leitores são pelo menos 100 vezes mais eficientes que inserir dados manualmente, o que implica em ganhos dramáticos na produção.

No âmbito do laboratório, o leitor de códigos de barra é usado para o fluxo e controle do stock, como por exemplo, na reposição de produtos oriundos do estoque para os postos de trabalhos.

Figura 26. Leitor de Código de barras – Lab-EGI

Outro artifício tecnológico que pode ser encontrado na fábrica de aprendizagem do laboratório é a unidade de processamento chamado de *Raspberry PI*, que segundo Raulino (2013), este funciona como um computador portátil. Este computador de baixo custo, criado pela *Raspberry PI Foundation* – uma fundação sem fins lucrativos, possui um processador de pequeno porte (ARM-11), o qual pode realizar operações ligadas a leituras de RFID e códigos de barra, por exemplo. Abaixo tem-se a imagem do *Raspberry PI*.

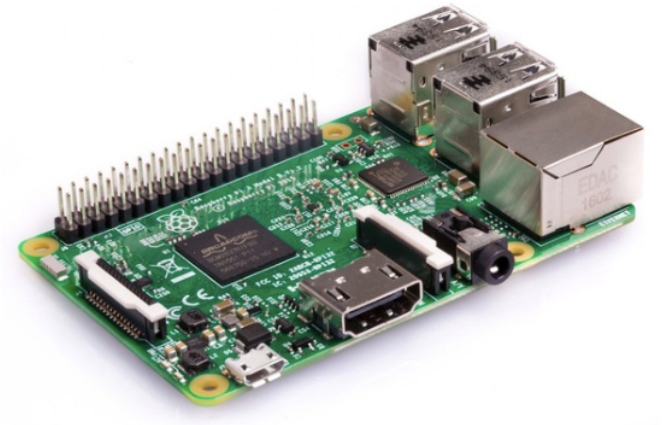


Figura 27. *Raspberry PI*. Fonte: raspberrypi.org

A tecnologia de identificação por radiofrequência, ou simplesmente RFID, também faz parte do acervo tecnológico do Lab-EGI. De acordo com Urso et al., (2020), a identificação por radiofrequência, refere-se a uma tecnologia para identificar e rastrear automaticamente etiquetas fixadas em objetos. As etiquetas são incorporadas a um transmissor e um receptor. O RFID possui duas partes: um microchip que armazena e processa informações e uma antena para receber e transmitir sinais.

Os RFID *Readrs Network* (RRN), ou leitores de etiquetas RFID, são uma rede simples, onde cada dispositivo RFID pode ser acessado através do *middleware* RFID, que funciona como um servidor centralizado, onde todas as configurações e informações são processadas e gerenciadas (Abad et al., 2011).

Figura 28. Leitor e etiqueta RFID - LAb-EGI

Além dos três itens listados e explanados acima, a Fábrica de Aprendizagem conta com uma impressora 3D, a qual foi útil para realizar a impressão do gabarito de montagem mostrado acima (figura 24), um televisor e 5 *tablets*, que possuem, em união com os itens listados acima, a função de trabalharem de forma integradas para a maior eficiência das operações da fábrica.

Estes itens estarão ilustrados abaixo.

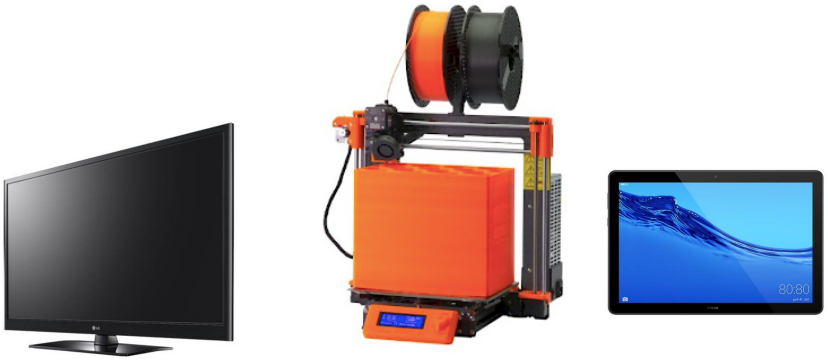


Figura 29. Televisor, impressora 3D e *tablet* utilizada no Lab-EGI

3.3.1. Avaliação Tecnologia Lab-EGI

Diferente de fábricas de aprendizagem como da ESB *Logistic Learning Factory* - Universidade da Alemanha, que é aprimorada por robores de pequeno porte e sistemas de veículos guiados (AGV), ou da ETA-*Factory* TU Darmstadt, na Alemanha, que conta com máquinas de corte e fornos de nitretação a gás, não é possível afirmar que a fábrica de aprendizagem do laboratório de EGI se enquadra como um fábrica rica em tecnologia.

Embora a Fábrica de Aprendizagem do laboratório de EGI não esteja equiparada à fábricas mais antigas e mais desenvolvidas a nível de tecnologia ao redor do mundo, a Lab-EGI, por seu curto período de existência, possui uma projeção de desenvolvimento promissora.

É esperado que, com o passar dos tempos, e com desenvolvimento de outros projetos ainda mais bem desenvolvidos do que este a ser decorrido, a fábrica de aprendizagem do Departamento de Engenharia e Gestão Industrial – EGI possa se desenvolver ainda mais. Para isso, é preciso que hajam projetos focados principalmente no desenvolvimento tecnológico da fábrica, para que assim todos os artigos de apoio tecnológico assumam suas respectivas funções, que é oferecer suporte ao tráfego de dados e auxiliar a produção dos produtos na fábrica de aprendizagem.

3.4. Matriz SWOT

Com o objetivo de melhor caracterizar a fábrica de aprendizagem presente no laboratório de EGI, realizou-se uma análise SWOT. A SWOT é o acrônimo de *Strenght* (força); *Weakness* (fraqueza); *Oportunity* (oportunidade) e *Treats* (ameaças). Esta matriz é majoritariamente utilizada para analisar fatores-chave de uma atividade particular, como operações e negócios, por exemplo (Scholdt et al., 2001).

No contexto deste trabalho, a matriz SWOT é benéfica para sintetizar os pontos fortes e fracos listados no capítulo anterior, bem como suas oportunidades e ameaças. A matriz está subdividida em duas esferas: a que envolve o produto montado na fábrica e seus processo e os elementos tecnológicos presentes na fábrica.

Abaixo está demonstrado a analise SWOT do produto, processo e tecnologia da Fábrica de Aprendizagem do laboratório de EGI.

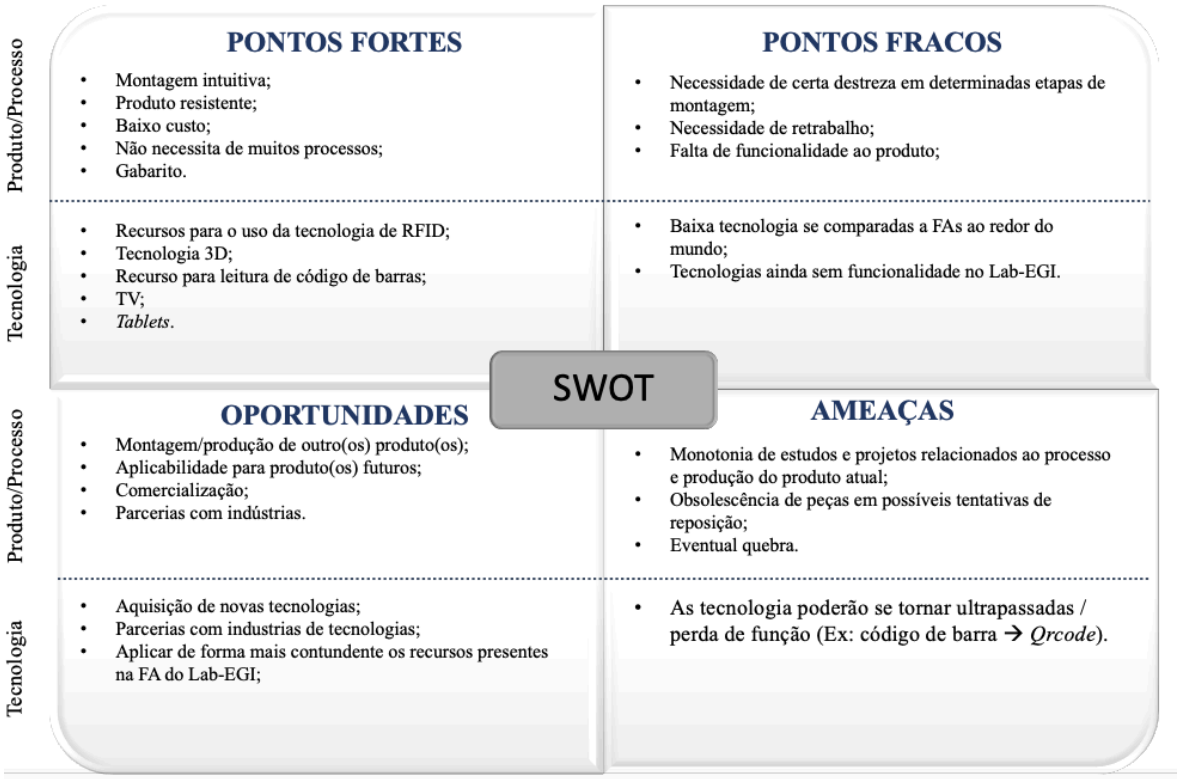


Figura 30. Análise SWOT do produto, processo e tecnologias da Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI

3.5. Análise comparativa da Fábrica de Aprendizagem

Com a intenção de compreender e, de certa forma, posicionar a Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI em relação as outras fábricas no mundo, será feito uma análise comparativa. Esta será importante para expor possíveis pontos favoráveis e não favoráveis a respeito da fábrica em estudo. Há de ser salientado que, esta secção não tem o propósito de julgar de forma arbitrária a fábrica deste estudo, bem como outras fábricas que serão citadas subsequentemente. O objetivo é, exclusivamente, caracterizar de forma comparativa a fábrica de aprendizagem do Lab-EGI, de forma semelhante à um *benchmarking*.

Em *Learning Factories: Cencepts, Guideliness, Best-Practice Examples*, livro lançado em 2019, os autores Eberhard Abele, Joachim Mettermich e Michael Tish descrevem 31 Fábricas de Aprendizagem ao redor do mundo (com maior concentração na Europa) e as titulam como "*Best Pratices Examples"* (Melhores Exemplos Práticos). Posto isso, estas fábricas serão utilizadas como objeto de comparação em relação à Fábrica de Aprendizagem do Lab-EGI.

A fim de alcançar uma análise comparativa mais imparcial, foram realizadas algumas distinções em relação às 31 fábricas. Em um primeiro momento, foi observado quais destas fábricas realizam suas tarefas com objetivo de produzir/montar produtos e não serviços (tal como na Lab-EGI). Em consequência, provou-se que, com exceção das fábricas *LSM Factory e Teaching Factory*, todas as outras tinham como objetivo a produção de produtos tangíveis. Em seguida, foram classificadas quais a fábricas com mais tempo de atuação, as que estavam na média em relação as outras fábricas e quais as fabricas mais recentes. Esta distinção é para que não haja disparidade entre as fábricas, visto que as mais antigas, de certo modo, podem ser mais desenvolvidas frente às inaugurada nos dias de hoje. Após a classificação por ano de inauguração, foram então extraídas 9 fábricas, 3 pertencentes ao grupo das fábricas mais antigas (grupo I), 3 fábricas com idades medianas (grupo II) e 3 mais atuais (grupo III). Esta divisão estará ilustrada na tabela abaixo.

Tabela 3. Distinções das fábricas de aprendizagem em grupos.

Numero	Ano	Nome	Produtos ou Serviços
11.7	1989	MPS, ICM, CP Factory	Cilindro Pneumático
11.10	2000	IFA-Learning Factory	Helicóptero E Componente
11.15	2002	Eletronics Production	Pcb, Mid, Componentes Eletrônicos De Potencia
11.14	2007	Learnirng factory AIE	Conjunto De Mesa
11.26	2007	Process LF CIP	Cilindro Pneumático, Engrenagem Elétrica
11.18	2009	Lemfabrik LSO	Engrenagens
11.21	2009	LPS leanirn facotry	Tampa De Garrafa, Suporte De Tampa De Garrafa, Vários Produtos Feitos Sob Encomenda
11.4	2011	E Drive-center	Motores Elétricos
11.9	2011	ifacotry	Família De Mesa E Família De Tensor De Correia
11.16	2011	L.F for innovation manufacturing and coopertaion	Novos Projetos Todo Semestre
11.23	2011	MPS Learning Platform	Novos Projetos Todo Semestre
11.1	2012	AutFab	Relais
11.3	2012	DIE	Divers
11.13	2012	Leanirng & inovation favotry	Slot Car.
11.20	2012	LSM Facotry	N/A
11.29	2012	Smart mini facotry	Cilindro Pneumáticos
11.31	2012	VPS center of the prod. Acad.	Motores (3/4 Cilindro)
11.2	2013	DFA	E.Go Kart And E.Go Life (E-Mobility Vehicles)
11.27	2013	Smart factory	Produtos Recicláveis Duumy
11.5	2014	ESB	City Scooter
11.8	2014	Festo leanring facotry	Valvular Pneumáticas
11.12	2014	Lean facotry	Tabelts Pneumático
11.17	2014	Learning facotry global production karlsrube	Eletric Drive
11.28	2014	smart facotry KL	Vários Componentes
11.11	2015	integrated lf	Máquina de perfuração de percussão
11.25	2015	pilot facotry indutrie 4.0	3D Printer
11.6	2016	ETA-Facotry	Placa De Controle Para Bomba Hidráulica, Eixo De Engrenagem
11.19	2016	lernfabrik fur vernetste pr	Controle Remoto P Carros
11.24	2017	MTA SZTAKI	Peças Fictícias Recicláveis
11.22	2018	MAN	Compressor Integralmente Engrenado
11.30	N/A	Teaching Factory	N/A

Antigo Médio Novo Excluso

3.5.1. Análise comparativa – Grupo I

Ao observar a tabela 4, nota-se que as fábricas MPS, ICM e CP, começaram suas atividades 28 anos antes da fábrica do laboratório de EGI. Não há uma regra para a velocidade de desenvolvimento das fábricas de aprendizagem, de forma geral, este desenvolvimento está ligado a diversos fatores, como parcerias e investimento interno/externo, por exemplo.

Outro ponto que chama atenção, é a capacidade da fábrica em produzir 3 produtos distintos, os quais são vendidos para instituições que também utilizam as fábricas de aprendizagem como objeto de estudo.

A MPS, ICM e CP *factory*, em termos de espaço físico, não se distinguem de forma discrepantes do Lab-EGI. Com 54 m² de área total, a fábrica possui tecnologias inovadoras como a tecnologia MES e transporte de materiais e utilização de braços robóticos.

Assim como na fábrica do laboratório de EGI, a fábrica em questão também faz uso da tecnologia RFID.

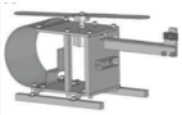
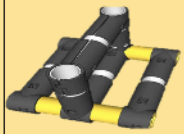
No que se refere à IFA *Learning Factory,* com quase 100 m² a mais que a Lab-EGI, esta é uma fábrica com 18 anos de operações, na atualidade produz somente helicópteros, cuja a maior funcionalidade é oferecer treinamento e simulações para seus operadores e alunos, sem a comercialização do produto final e seus componentes.

A fábrica conta com tecnologias como sistemas de prateleiras eletrônicas, sistema de localização em tempo real de pessoas e objetos e óculos com realizadas aumentada. É possível afirmar que o uso destas tecnologias com grande nível de automação é a maior dissemelhança entre a IFA e a Lab-EGi.

Eletronics Production é uma fábrica cujo seu objeto de produção é denominado de MIDSTER. A fábrica conta com notáveis 810 m² de área total e está em atividade há 18 anos operando de forma altamente tecnológica, com sensores, fornos de refluxos e impressora 3D para criação de placas de circuito impresso para PCB.

O aspecto tecnológico, juntamente com a complexidade das operações das fábricas deste grupo, são os fatores que de forma geral, mais divergem das operações realizadas na fábrica de aprendizagem do laboratório de EGI.

Tabela 4. Comparação Lab-EGI - Grupo I

Nome	Produto	Inauguração	Dimensão (m²)	Tecnologias 4.0
MPS, ICM, CP Facotry	Cilindro de ação (a); Microcontrolador (b); Desket (c); Dispositivo Eletônico (d)	1989	2/50	Transporte de material refinado e mais versátil por duplo transportador
				Arranjo livre de módulos sem reprogramação
				Controle inteligente de fluxo de material por RFID
				Componentes ciberfísicos, como Stopgate ciberfísico
				Sistema integrado de execução de manufatura (MES)
				Robô
				Conexão com a fabricação de serviços em nuvem
IFA-Learning Factory	 Helicóptero E Componente	2000	150	Sistema para PPC (*Planning Production Control*)
				Sistema de pratileiras eletrônicas (*Electronic Shelf Label*s - ESL)
				Sistema de localização em tempo real (RTLS) de pessoas e objetos
				Uso de óculos com realidade aumentada
				Sistemas de medição biomecânica (uso em ergonomia)
Eletronics Production	MIDSTER	2002	220/810	Placas de Circuitos Impresso (Printed Circuit Board - PCB) para impressão 3D em alta precisão (12,5 µm seis sigma e 22 µm para três sigma)
				Sensores
				Solda elétrica
				Forno de Refluxo
				Data Mining
Lab-EGI	 Talocha	2018	54	Impressora 3D
				RFID
				Leitura de código de barras

3.5.2. Análise comparativa – Grupo II

Como primeira fábrica pertencente ao grupo II, tem-se a *E Drive – Center*. Com dimensão significativa de 867 m², mais de 25 instalações de produção e um grande número de equipamentos, entre eles máquinas lasers e ultrassônicas, a Fábrica de Aprendizagem é uma fábrica moderna e bem equipada. Possui capacidade até 40 participantes e um time de 15 membros do corpo científico, sendo unicamente utilizada para treinamento.

Fundada em 2011, a *E Drive* – Center possui uma disparidade significativa da Lab-EGI no que diz respeito ao espaço físico, complexidade dos produtos e tecnologias empregadas no processo de produção.

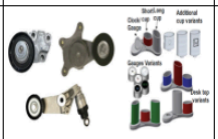
A *iFactory*, segunda fábrica pertencente ao grupo II, foi fundada também em 2011, e conta com um ambiente de 200 m². A fábrica conta com inspeções visuais por computadores, sistema automatizado de armazenamento e recuperação (ASRS), comunicação RFID e inúmeras outras tecnologias. Assim como a fábrica anterior, a *iFactory* também não realiza a comercialização de seus produtos, sendo utilizados somente para pesquisas relacionadas ao design do produto, planejamento do processo baseado em variantes, processamento de pedidos para a produção mista e outros, projetos estes que são, em sua maioria, realizados por estudantes da licenciatura, mestres, doutores e possíveis estagiários.

A maior desigualdade da fábrica de aprendizagem *iFactory* e a Lab-EGI, acredita-se ser as tecnologias empregadas, complexidade de produção e o nível de exploração da fábrica.

Apesar de não possuir um processo de fabricação para um produto fixo, a *LF for Manufacturing and Cooperation* (terceira fábrica do grupo II), é permitida realizar a troca de produtos para a montagem ou fabricação a cada semestre, uma vez que esta conta com uma linha de produção totalmente flexível, o que permite a recomposição de muitas células de processamento utilizadas no projeto anterior. A fábrica conta também com uma área total de 800 m² e tecnologias inovadoras, tais como: máquina de medição por coordenadas e veículos guiados automaticamente, além de possuir um armazém totalmente automatizado.

A maior diferença que se pode notar entre esta fábrica, bem como as outras fábricas descritas acima e a fabrica presente no laboratório de EGI, é: espaço físico, tecnologias e capacidade de mutação na produção.

Tabela 5. Comparação Lab-EGI - Grupo II

Fábrica de Aprendizagem	Produto	Inauguração	Dimensão (m²)	Tecnologias 4.0
E Drive-center	Motores Elétricos (não ha iimagens)	2011	867	Corte a laser Robôs Laser Infravermelho Sensores Câmeras Magnéticas Data Mining
iFacotry	 Família De Mesa E Família De Tensor De Correia	2011	200	Production Plan (iPLan) Design de sistemas e configuração algoritmos e metodologias. Layout Flexivel Robôs Inspeção via computador Sensores RFID Sistema de controle Siemens SCADA Impressora 3D iOrder (para entrada de pedidos personalizados)
L.F for innovation manufacturing and coopertaion	Novos Projetos Todo Semestre	2011	800	Máquina de medição por coordenadas Marcador a laser Impressora 3D Armazém automatizado AGVs
Lab-EGI	Talocha	2018	54	Impressora 3D RFID Leitura de código de barras

3.5.3. Análise comparativa – Grupo III

A primeira fábrica de aprendizagem do grupo III é *Lernfabrik Für Vernetzte Produktion – LVP*). Com 91 m² de área total, a Fábrica de Aprendizagem situada na Alemanha tem como *output* principal a montagem de carros com controle remotos. O proposito principal desta fábrica é oferecer treinamento da indústria 4.0 e propósitos secundários, como sistema de assistência e métodos de engenharia digital. Ademais, a fábrica realiza a comercialização dos produtos acabados.

A fábrica inaugurada há 4 anos possui tecnologias do tipo braços robótico, impressora 3D, Auto ID para identificação automática de pessoas, objetos e outras, podendo possuir grupos de até 13 participantes eu seus treinamentos.

O que mais diferencia a LVP da Lab-EGI é a complexidade das operações, as tecnologias e a funcionalidade do seu produto.

A *MTA SZATKI Learning Factory* realiza a montagem de produtos fictícios recicláveis. Esta fábrica consiste em quatro configurações flexíveis estações de trabalho robóticas, equipadas com robôs UR5/10. Também fazem parte do processo de montagem dispositivos internos para aquisição de imagens óticas e nuvens de ponto 3D componentes configuráveis de interação homem-máquina. A logística é auxiliada por AGVs, um deles equipado com robô *aUR3* para operações de carga. Tendo a sua última etapa de construção terminada em 2018, a Fábrica de Aprendizagem contou com iniciativas públicas para financiar determinados projetos.

Apesar de ambas as fábricas possuíram relativamente os mesmo anos de inauguração, a fábrica presente no laboratório de EGI ainda não possui o nível profissional, tecnológico e complexo da *MTA SZATKI Learning Factory*.

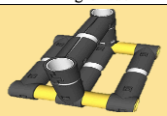
Relativamente à ultima fábrica do grupo III, a MAN *Learning Factory*, a qual pertence a uma conhecida multinacional fabricante de motores a diesel. Esta fábrica possui 45 m² de área pertencente a oficina, a qual é equipada com guindastes para o transporte de cargas e 50 m² de área relativa ao treinamento e montagem dos motores de fato.

O objetivo principal da fábrica de aprendizagem da MAN é ensinar os engenheiros de serviço de campo sobre as operações de manutenção de compressores com engrenagem integral, assim como os conhecimentos e habilidade de montagem necessárias.

A fábrica MAN conta com impressão 3D na etapa 1, estudo de design em 3D na etapa 2, partes do compressor real na etapa 3 e óculos com realidade aumentada na etapa 4.

Pelo que é compreendido, a fábrica em questão não possui natureza acadêmica, e sim prática profissional. Desta forma, reservadas as devidas ponderações, a fábrica presente no laboratório de EGI se difere da fábrica da MAN, assim como inúmeras outras citadas nesta seção, em aplicações tecnológicas – embora compartilhem de tecnologias como impressora 3D e RFID, aplicabilidade do produto, complexidade no processo de produção e espaço físico.

Tabela 6. Comparação Lab-EGI - Grupo III

Fábrica de Aprendizagem	Produto	Ano de Inauguração	Dimensão (m²)	Tecnologias 4.0
Lernfabrik Für Vernetzte Produktion (LVP)	Controle Remoto para Carros	2016	91	Comissionamento Virtual Impressora 3D OPC UA (inglês para Plataforma de Comunicação Aberta - Arquitetura Unificada) Auto ID (método de identificação automática de objetos) Robôs Simulação do fluxo de material
MTA SZTAKI Learning Factory	Peças Fictícias Recicláveis (não ha imagens)	2017	150	Robôs Automated Guided Vehicle - AGVs (veículo guiado automaticamente) Impressora 3D
MAN Learning Factory	Compressor Integralmente Engrenado	2018	95 (Agregado)	Impressora 3D Óculos de realidade aumentada Aplicativo para orientar a montagem Information and Communication Technology - ICT (Tecnologia da Comunicação e Informação)
Lab-EGI	 Talocha	2018	54	Impressora 3D RFID Leitura de código de barras

3.6. Proposta de novo produto

Ao realizar a comparação com os três grupos do capítulo anterior, foi observado os pontos para possíveis melhorias da fábrica de aprendizagem do laboratório de EGI. Com o confronto do produto que está sendo montado, a tecnologia envolvida no seu processo e a aplicabilidade deste produto, ficou evidente a superioridade dos outros laboratórios de todos os grupos em que o Lab-EGI foi confrontado.

Em uma avaliação adicional, os produtos oriundos do processo de montagem das 9 fábricas que compõem os grupos I, II e III, são superiores no que diz respeito à aplicabilidade do produto, a tecnologia envolvida e o espaço físico disponível para a produção. Contudo, no que toca a tecnologia disponíveis no Lab-EGI, esta pode ser considerada como adequada para o processo de montagem da Talocha, visto que não é necessário o emprego de tecnologias de alta complexidade para a produção de um item que não requer esta inovação. Relativamente ao espaço físico, não existe a carência de um espaço maior, dado que o produto final, seus componentes e seu processo de montagem, não necessitam de um espaço físico maior que o atual.

Com isso, é possível afirmar que o melhor avanço direcionado ao Lab-EGI no presente momento é a montagem de um produto que possua aplicabilidade, para que assim seja possível dá-lo – se possível e necessário, novas tecnologias e ampliar o espaço físico.

Portanto, o presente capítulo terá como objetivo sugerir um produto que possua aplicabilidade e complexidade maior que a do item montado atualmente, para que assim os alunos e futuros operadores possam compreender alguns conceitos para além do processo de montagem. Para isso, serão ponderados algumas peculiaridades importantes da fábrica.

Como proposta de um novo produto foram selecionados três possíveis itens que presumidamente possuem potencial para serem montados na fábrica. Como produto I tem-se o dispensador de fita em cor majoritária preta, como produto II foi selecionado um suporte deslizante em madeira e como produto III um borrifador doméstico na cor azul/verde. Os três produtos estão ilustrados nas figuras abaixo.

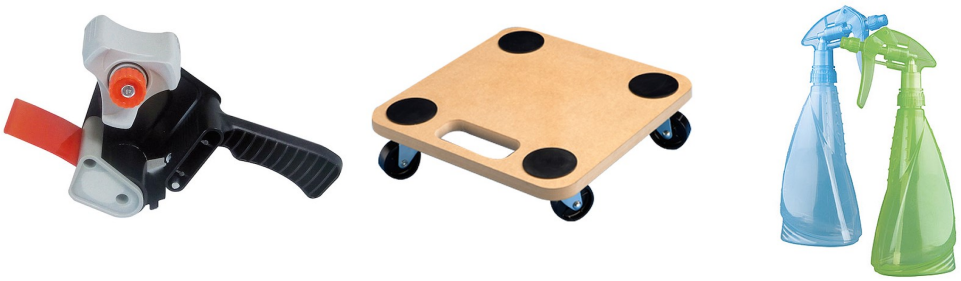


Figura 31. Possíveis produtos para o Lab-EGI

A escolha dos três produtos se deu levando em consideração alguns aspectos julgados importantes, são eles:

- Tamanho do produto: não seria razoável optar por produtos com componentes volumosos, dado que para alcançar o menor investimento possível é necessário aproveitar ao máximo os equipamentos já existentes no laboratório;
- Preço de compra: optou-se por produtos com baixo valor de compra;
- Complexidade do produto: o produto deveria possuir um determinado nível de complexidade.

Uma vez descriminados os critérios de seleção do novo produto, deve-se confronta-los de modo a escolher o produto que mais se adequa à realidade do Lab-EGI. Esta comparação está descrita na tabela7.

Tabela 7. Comparação dos possíveis produtos para o Lab-EGI

Produto	Complexidade de montagem	N°. Componentes	Tamanho	Valor de Compra (€)
Dispensador de fita	Média/Alta	18	22X18X6CM	6,99
Suporte deslizante	Baixa	9	29X29	14,99
Borrifador doméstico	Média/Baixa	8	30x30 (circunferência)	3,19

Nota-se que o suporte deslizante e o borrifador doméstico possuem poucos componentes se comparados ao dispensador de fita, isto implica em um processo de montagem de complexidade baixa e média/baixa, o que não se torna vantajoso para a fábrica de aprendizagem em questão. Os tamanhos dos produtos são em sua totalidade satisfatórios, e o preço de compra – com exceção do suporte deslizante é também razoável. Em consideração aos pontos acima observados, o produto que mais se adequa à fábrica de aprendizagem Lab-EGI é o dispensador de fita, uma vez que este possui a complexidade de montagem esperada e o número de componentes expectável, assim como o preço de compra acessível.

3.6.1. Análise crítica do novo produto

O Dispensador de Fita, selecionado para ser utilizado como objeto de montagem na fábrica de aprendizagem do laboratório de EGI dispõe de 18 componentes desmontáveis, uma sequencia de montagem de complexidade média/alta para os padrões e tecnologias presentes no laboratório atualmente e um preço de compra razoável se comparados à fábricas internacionais. Abaixo estão descritas outras características relevantes relacionadas ao produto.

Largura (em cm)	6
Altura (em cm)	22
Largura (em mm)	60
Cor	Preto
Família de cor	Preto
Tipo de adesivo	Fita adesiva
Tipo	Dispensador de fita
Material principal	Plástico
Uso do produto	Embalagem
Tipo de produto	Aplicador de fita adesiva
Inflamável	Não

Tabela 8. Características do produto

Com o uso de um produto que possua aplicação prática, é presumido que os operadores possam realizar o processo de montagem com lucidez, não apenas seguindo as

instruções de montagem, mas sim, utilizando o senso crítico, identificando as etapas que anteriores e posteriores a que está sendo executada, bem como a funcionalidade de cada processo e componentes para o produto final.

3.6.2. Árvore do produto

Com o objetivo de esmiuçar o possível novo produto, vislumbrou-se a possibilidade de realizar o método de desmembramento de componentes contidos no produto, denominado de Estrutura/Árvore do Produto, a fim de compreender melhor sua estrutura. Também chamada de *Bill of Material - BoM*, ou Relação Pai e filho, este diagrama hierárquico segundo KashKoush e ElMagaghy (2013) inclui uma lista de subconjuntos, componentes, peças e matérias-primas e suas respectivas quantidades necessárias para produzir um produto final. Esta representação é comumente utilizada para realizar planejamentos do tipo *Material Requirement Planning – MRP*. No âmbito deste projeto, esta estrutura será útil para compreender os níveis de montagem, as quantidades de peças necessárias para cada nível e a disposição de cada um dos componentes no processo de montagem do produto. Abaixo está descrito a árvore do produto.

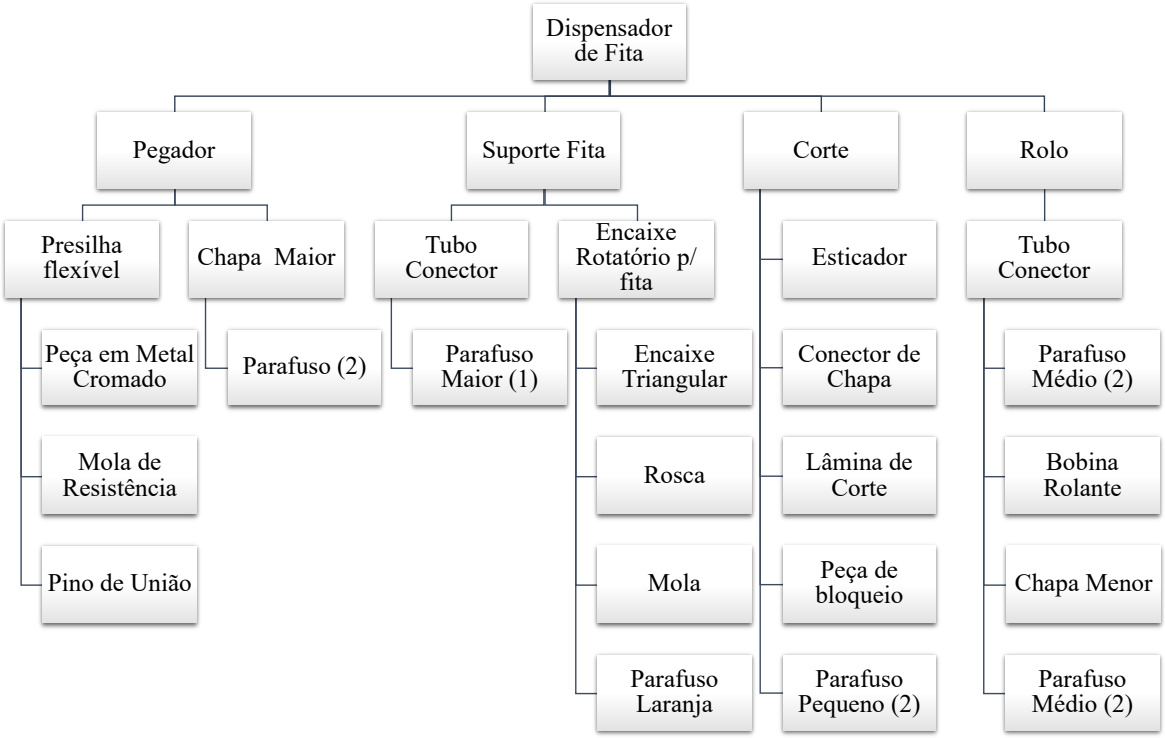


Figura 32. Árvore do produto

É possível observar que o produto se divide em módulos do tipo “chapa grande”, “pegador”, “suporte de fita”, “corte” ,“rolo” e “chapa pequena”. Os módulos podem ser definidos como subprodutos contidos no produto final, ou seja, é o conjunto de componentes que formam um módulo e posteriormente o conjunto de módulos formarão o produto final. Os módulos, bem como seus respectivos componentes estão descritos abaixo.

Tabela 9. Descriminação dos módulos e seus componentes

Módulo	Imagem	Componentes
Chapa Grande		Parafuso Médio (2und)
Pegador		Mola de Resistência
		Peça em Metal Cromado
		Pino de União
Suporte Fita		Tubo Conector
		Encaixe Rotatório Triangular
		Rodela
		Rosca
		Mola
		Parafuso Grande (1und)
Corte		Esticador
		Conector de Chapa
		Lâmina de Corte
		Peça de Bloqueio
		Parafuso Médio (1und)
		Parafuso Pequeno (2und)
Rolo		Tubo conector
		Parafuso Médio (1und)
		Bobina
Chapa Pequena		Parafuso Médio (2und)

3.6.3. Definição do processo de montagem

Para a definição do melhor processo de montagem, buscou-se em primeiro lugar compreender o fluxo de montagem de produto. Posto isso, deu-se início a desmontagem do produto, particularizando cada módulo e componente contido nos respectivos módulos de montagem. Após esta etapa, vislumbrou-se a ideia de utilizar nomes que pudessem facilitar a documentação do processo de montagem, o intuito de oferecer nomes ao invés de códigos ou nomenclaturas surgiu para que os operadores pudessem agir de forma intuitiva enquanto

tivessem operando a montagem do produto. Assim sendo, inclinou-se para etapa de testagem das sequências de montagem, a qual sucedeu em testar inúmeras sequências de montagem e identificá-las como adequadas ou não adequadas. Esta etapa resultou no diagrama de precedências, o qual será exposto na secção seguinte.

3.6.3.1. Diagrama de precedência dos módulos

O diagrama de precedência definido por Hajdu (2015) como uma solução para ilustrar atividades sobrepostas é útil no auxílio da modelagem da sequência de montagem do produto. As atividades que necessitam de outras devem ser colocadas posteriores na sequencia e atividades que podem ocorrer em simultâneo devem ser colocadas em paralelo.

No que se refere ao dispensador de fita, deve-se partir do pressuposto que este possui – assim como referido anteriormente – 6 módulos, sendo possível montá-los desagregados ao corpo do produto final, desta forma os módulos tornam-se dependente somente da chapa maior que realiza a ligação de todos os módulos. O diagrama de precedências está ilustrado a seguir.

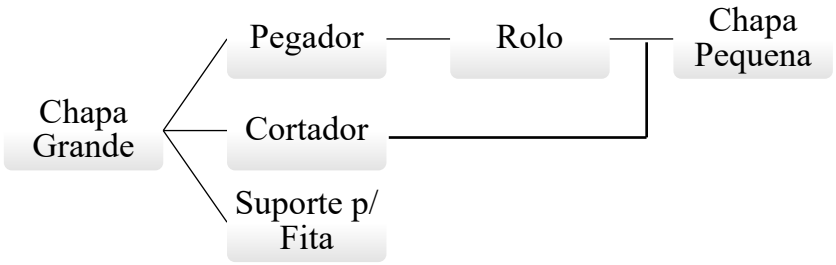


Figura 33. Diagrama de precedência dos módulos do produto

Observa-se que o rolo e a chapa pequena dependem do término da operação do pegador e consequentemente da chapa grande, isto ocorre devido à presilha (ver Apêndice A) que deve ser aberta ao máximo para o encaixe do rolo. Desta forma, mesmo que o rolo possa ser montado de forma individual, este deve aguardar o término da operação do pegador para ser acoplado à chapa maior.

3.6.3.2. Proposta de Montagem I

O processo de montagem se deu através de dois operadores, neste projeto denominados de “Operador A” e “Operador B”. Estes tiveram tempo para em um primeiro momento compreender de que forma se dava o processo de montagem, a ordem dos componentes e quais as ferramentas utilizadas no processo de montagem. No que toca estas ferramentas, foi utilizada uma aparafusadora elétrica do tipo “estrela”, a qual permitiu realizar operações de aperto dos parafusos de dimensão grande, média e pequena. No que se refere a cronometragem das operações, este recurso ficou por conta de um cronômetro digital de precisão.

A proposta de montagem I se deu em três etapas de montagem, isto se justifica devido ao uso de três bancadas de operação na fábrica de aprendizado já existente no laboratório de EGI. A ideia seria justamente aproveitar ao máximo o uso dos elementos oferecidos pela Lab-EGI. Assim sendo, a divisão das operações de montagem dos módulos relativas aos postos de trabalhos estão ilustradas na figura 35.

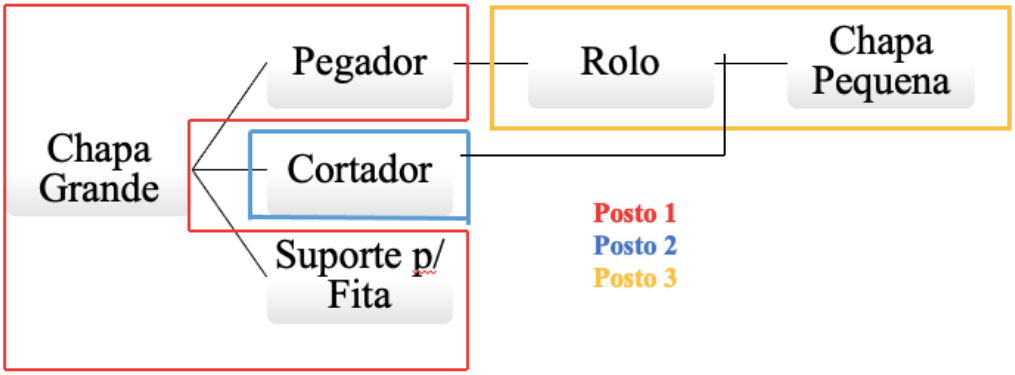


Figura 34. *Divisão de montagem dos módulos - Proposta I*

Uma vez definido a sequência de montagem dos módulo, é iniciado o processo de montagem e coleta dos tempos. Para isto, sucedeu-se a um manual de montagem geral, onde é descrito não só a sequência dos módulos, mas todas as operações presentes na proposta de montagem I. Este manual está ilustrado abaixo.

Tabela 10. *Instruções de montagem - proposta I*

	Operação	Descrição
Módulo 1	1	Parafusar pegador(1) *no orificioo de circulo vermelho* na chapa maior(5) com o parafuso médio(19)
Módulo 2	2	Posicionar peça em ferro cromado(2) no pegador(1)
	3	inserir mola de resistencia(3) com engate para a peça de em feero cromado(2)
	4	inserir pino(4)
Módulo 3	5	Parafusar tubo de encaixe para suporte de fita(8) no *orifício de circulo amarelo* com parafuso grande(19)
	7	encaixar aparador(6) no interiror da peça triangular(7)
	8	encaixar peça triangular(7) no tubo de encaixe(8)
	9	encaixar rosca(9)
	10	pré posicionar mola(10)
	11	apertar parafuso(11) com mola(10) pré posicionada
Módulo 4	12	unir esticador (aba para cima)(12); peça de conexão corte - chapa grande(13) (aba para cima) e lâmina(14)(serra p/ cima) com o parafuso pequeno(19)
	13	Parafusar com parafuso pequeno(19) todos os componentes da etapa 12 com o fixador de lâmina(15)(aba p/ cima virada p/ frente)
	14	encaixar o produto resultante da operação 13 na cavidade da chapa grande(5) e entao *parafusa-lo no orifício verde* utilizando o parafuso médio(19)
Módulo 5	15	parafusar com parafuso médio(19) *no orifício azul* o tubo fixador da rolo(16) na chapa grande(5)
	16	Puxar a peça em ferro cromado(2) para cima e encaixar o rolo(17) no tubo fixador(16)
Módulo 6	17	parafusar com parafuso médio(19) a chapa pequena(18) no módulo 4 e 5

É possível reparar que o manual de montagem descrito acima possui algumas particularidades. Em primeiro, lugar nota-se à esquerda a lista dos 18 componentes mais os parafusos. Fez-se necessário a inserção das imagens dos componentes devido a complexidade de algumas operações, logo com a introdução da lista de componentes, o operador poderá facilmente olhar ao lado e identificar qual componente deve ser utilizada na operação que está em andamento. Abaixo da ilustração dos componentes está igualmente ilustrado o componente de código 5, nomeadamente a "chapa grande", a ilustração deste de forma ampliada se deu de modo a identificar onde os módulos deveriam ser acoplados.

Alguns aspectos importantes devem ser levados em consideração no que se refere a descrição das operações. Nota-se que, sempre que, um componente é referenciado existe um parêntese entre números, este fato se dá com a finalidade de identificar qual componente deve ser utilizado na operação.

Com o manual de montagem devidamente ilustrado e esclarecido, avança-se para a etapa de coleta e análise dos dados. Como referido anteriormente foram utilizados dois operadores para realizar o processo de montagem da proposta I. Seus respectivos tempos de montagem foram medidos por etapa e tempos acumulados, os quais totalizam 10 medições (5 para cada operador), os quais revelam o tempo total de montagem. Há de salientar que os operadores A e B já haviam montado previamente, logo, não se deve considerar o tempo de *ramp-up* nos tempos abaixo apresentados.

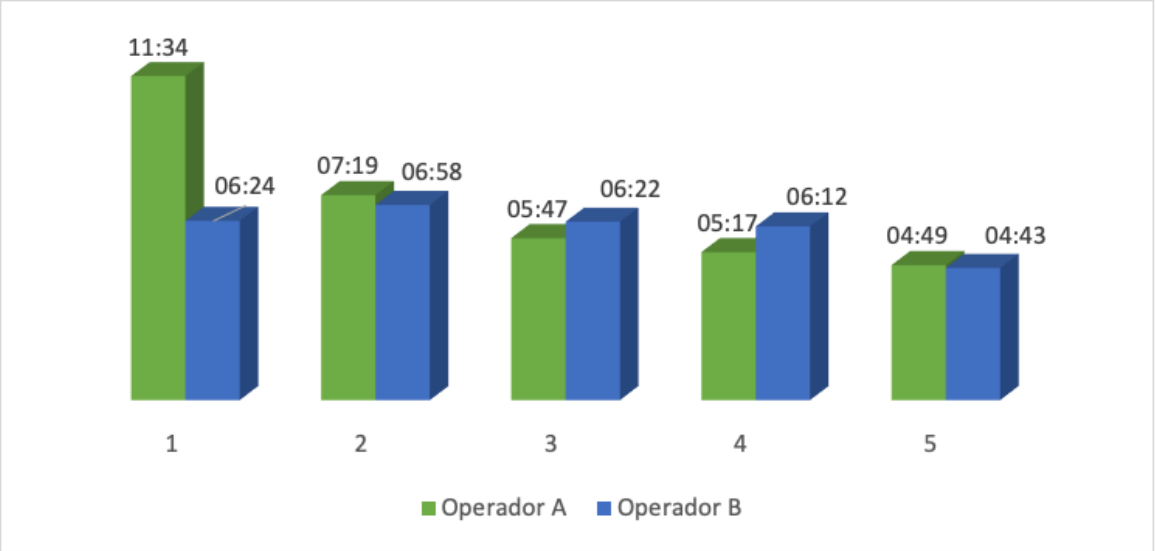


Figura 35. Tempo Acumulado - Montagem 1

Com a análise do gráfico acima, nota-se que o operador A – em 4 dos 5 tempos medidos – possui mais destreza de montagem no que se refere a este produto, porém também fica evidente que a disparidade entre os operadores não é algo descomunal e sim uma vantagem sútil. Com isso, conclui-se que os operadores que estejam desenvolvendo o trabalho no Lab-EGI, devem possuir aproximadamente o mesmo tempo de montagem. A tabela 11 ilustra o comparativo das médias e desvio padrão das operações dos dois operadores.

Tabela 11. Tempos médio e desvio padrão acumulado - proposta de montagem I

Acumulado Montagem 1		
Tempo	Operador A	Operador B
1	11:34	06:24
2	07:19	06:58
3	05:47	06:22
4	05:17	06:12
5	04:49	04:43
MÉDIA	**06:57**	**06:07**
D.PAD	**0,11**	**0,04**

Outro fator notável, é o decrescimento dos tempos de montagem, observa-se que a partir da segunda colheita de tempo, todos os tempos subsequentes tiveram quedas que, se comparadas individualmente ou somente para o tempo subsequente não se fazem significativas, porém ao analisar o decréscimo do segundo ao terceiro nota-se uma redução de 66% e 68% respectivamente. Isto prova que possivelmente os tempos aplicados com mais testes podem ser ainda menor ao tempo da medição 5.

Após a análise dos tempos acumulados dos operadores A e B, tem-se os tempos de montagem dos 3 postos de trabalho. Estes tempos são referentes as medições dos tempos acumulados citados anteriormente e descrevem os tempos de montagem dos postos 1, 2 e 3 respectivamente. O gráfico com as ilustrações dos tempos dos postos de trabalhos está ilustrada abaixo.

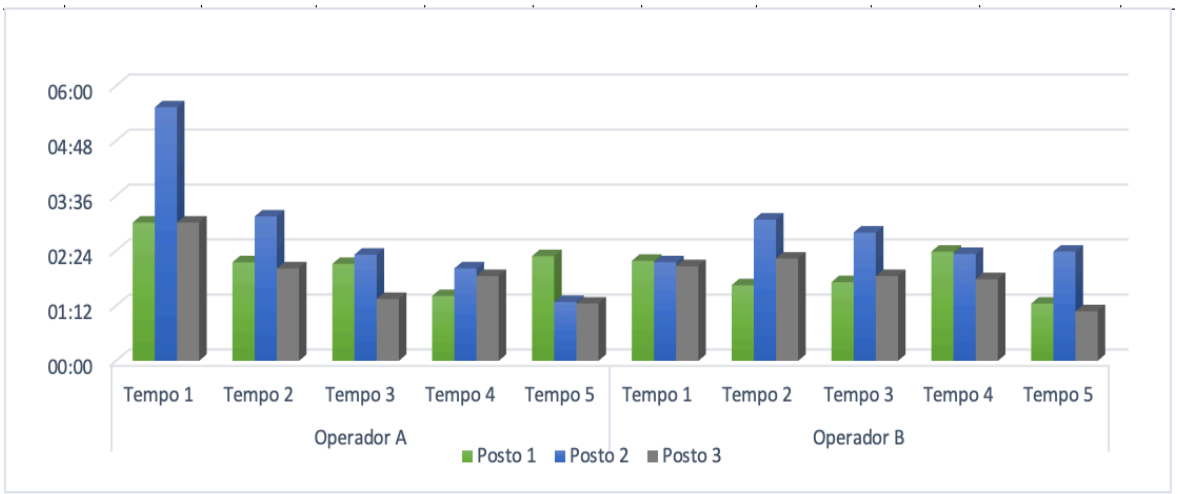


Figura 36. *Tempo por etapa - Proposta de montagem I*

Ao realizar a leitura do gráfico acima constata-se que em 70% dos tempos coletados, o posto 2 – posto responsável pela montagem do módulo de corte – foi o posto com maior tempo de operação. Isto na prática implica dizer que em 7 das 10 medidas de tempo

realizadas a etapa subsequente ao posto 2 (posto 3), ficou aguardando o término da operação do posto 2 ser concluída. De forma quantitativa, o posto 3, ao fim das 5 tomadas de tempo, possuiu um tempo morto total de 4:49 (Apêndice B). Na tabela 12 é possível perceber que o posto incumbido de realizar a montagem do módulo de corte possuiu, não só o maior tempo médio de operação, mas também o maior desvio padrão entre as operações dos 3 postos de trabalho.

Tabela 12. Tempos médios e desvio padrão por posto de trabalho - Proposta de Montagem I

	Operador A			Operador B		
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 1	Posto 2	Posto 3
MÉDIA	02:11	02:51	01:53	01:50	02:33	01:48
DEV. PAD	0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02

3.6.3.3. Proposta de Montagem II

A proposta de montagem II se justifica com a execução do módulo de corte no primeiro posto de trabalho. Vislumbrou-se esta ideia a partir da análise da proposta I onde foi verificado esta etapa como o gargalo da linha de produção. Acreditou-se que transpondo esta etapa para não mais segundo, mas como primeiro posto de trabalho, condicionaria a linha para a montagem do módulo de corte, assim acabando com o tempo morto no posto seguinte.

No que se refere à metodologia de medição de tempo de montagem e todo o processo envolvido, a proposta de montagem II se foi baseada de forma integral nos métodos de aferição dos tempos. De igual modo, foram utilizados os mesmo dois operadores ditos na proposta de montagem I.

A divisão das operações relativas aos postos de trabalhos estão mostradas no esquema abaixo.

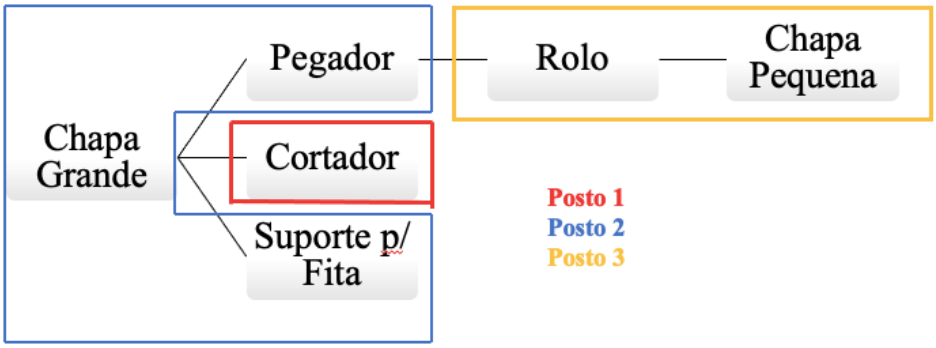


Figura 37. Divisão de montagem dos módulos - Proposta II

Dada a definição das operações a serem realizadas nos devidos postos de trabalhos, sucedeu-se a produção do manual de montagem de acordo com a proposta II de montagem. O manual de montagem pertencente a proposta II está demonstrado a seguir.

Tabela 13. Instruções de montagem - proposta II

	Operação	Descrição
Módulo 1	1	unir esticador (aba para cima)[12]; peça de conexão corte - chapa grande[13] (aba para cima) e lâmina[14](serra p/ cima) com o parafuso pequeno[19]
	2	Parafusar com parafuso pequeno[19] todos os componentes da etapa 1 com o fixador de lâmina[15](aba p/ cima virada p/ frente)
	3	encaixar o produto resultante da operação 2 na cavidade da chapa grande[5] e entao *parafusa-lo no orifício verde* utilizando o parafuso médio[19]
Módulo 2	4	Parafusar pegador[1] *no orifícioo de circulo vermelho* na chapa maior[5] com o parafuso médio[19]
Módulo 3	5	Posicionar peça em ferro cromado[2] no pegador[1]
	6	inserir mola de resistencia[3] com engate para a peça de em feero cromado[2]
	7	inserir pino[4]
Módulo 4	8	Parafusar tubo de encaixe para suporte de fita[8] no *orifício de circulo amarelo* com parafuso
	9	encaixar aparador[6] no interiror da peça triangular[7]
	10	encaixar peça triangular[7] no tubo de encaixe[8]
	11	encaixar rosca[9]
	12	pré posicionar mola[10]
	13	apertar parafuso[11] com mola[10] pré posicionada
Módulo 5	14	parafusar com parafuso médio[19] *no orifício azul* o tubo fixador do rolo[16] na chapa grande[5]
	15	Puxar a peça em ferro cromado[2] para cima e encaixar o rolo[17] no tubo fixador[16]
Módulo 6	16	parafusar com parafuso médio[19] a chapa pequena[18] no módulo 4 e 5

Ao comparar as instruções de montagem nota-se que esta – com exceção da ordem dos módulos – não se altera de forma contundente, não existe a inserção de operações extras ou é retirado nenhuma operação do processo de montagem dos componentes.

Após a elaboração das instruções de montagem da proposta II, é iniciado a etapa de coleta dos tempos de montagem. De igual modo, não será considerado o tempo de *ramp-up*, uma vez que os operadores tiveram tempo para compreender o processo de montagem. O gráfico relativo aos tempos de montagem dos operadores A e B estão mostrados abaixo.

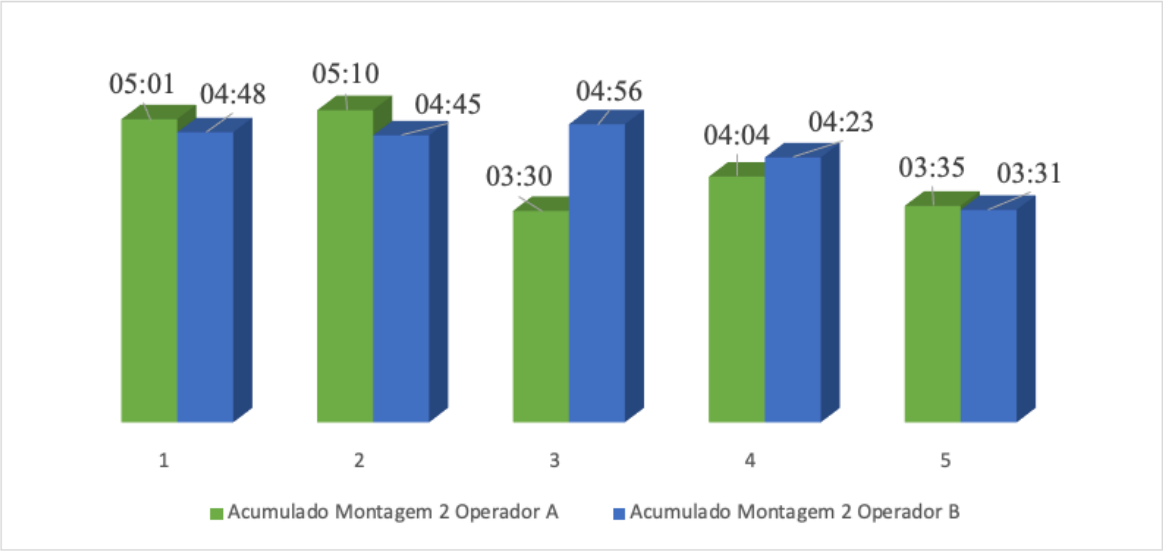


Figura 38. Tempos acumulados – Proposta de montagem I

Com a ilustração da figura 39, é possível realizar algumas observações. Primeiro nota-se que os tempos assemelham estar mais controlados, com exceção do tempo 3, todas as outras coletas de tempo estão equiparadas. Outro ponto notável, é a diminuição dos tempos de execução total em relação a proposta anterior. Esta ponderação se evidencia com a apreciação da tabela abaixo.

Tabela 14. Tempos médio e desvio padrão acumulado - proposta de montagem II

Acumulado Montagem 2		
Tempo	Operador A	Operador B
1	05:01	04:48
2	05:10	04:45
3	03:30	04:56
4	04:04	04:23
5	03:35	03:31
MÉDIA	**04:16**	**04:28**
D.PAD	**0,03**	**0,02**

Em relação aos tempos de execução por tarefas, estes evidentemente apresentaram melhoras substanciais, como mostra o gráfico abaixo.

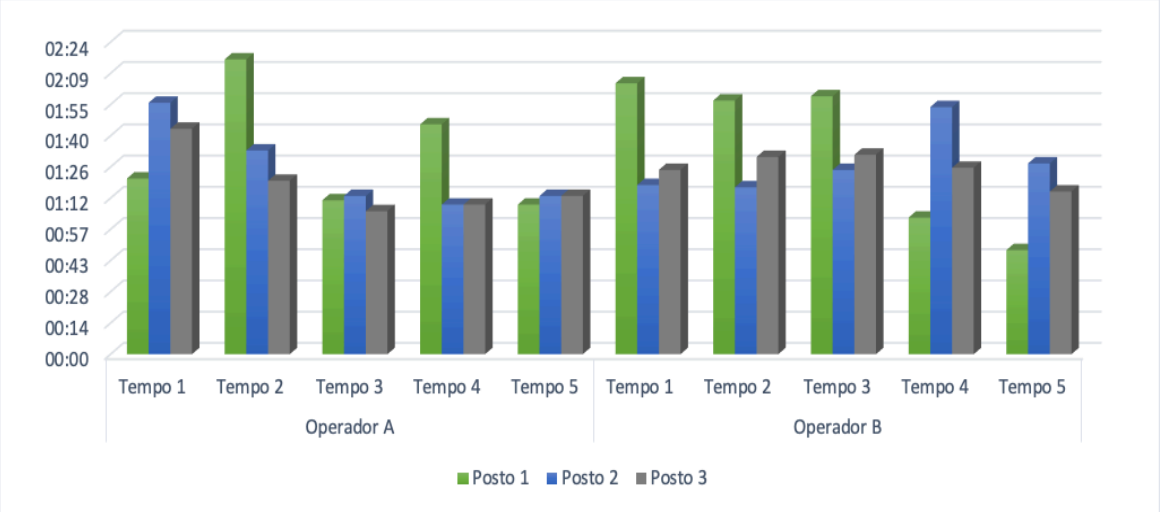


Figura 39. Tempo por etapa - Proposta de montagem II

Nota-se que o posto 1 permanece sendo o posto de maior tempo de operação, porém com a troca da ordem de operação houve uma redução de tempo morto de 4:49 para 0:38. Assim como na proposta de montagem I, calculou-se os tempos médio de operação dos postos de montagem, assim como seus respectivos desvios padrões. Estes dois indicadores estão descritos abaixo.

Tabela 15. Tempos médios e desvio padrão por posto de trabalho - Proposta de Montagem II

	Operador A			Operador B		
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 1	Posto 2	Posto 3
MÉDIA	01:32	01:25	01:18	01:34	01:34	01:25
DEV. PAD	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00

3.6.3.4. Resultado das propostas de montagem

Com o objetivo de escolher a proposta de montagem que no presente momento melhor se enquadra na Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI, devem ser levados em conta alguns aspectos. Antes de tudo, os tempos médios de montagem dos dois operadores devem ser o primeiro e porventura o indicador mais importante. Neste ponto, é possível determinar que a proposta de montagem I é a proposta que possui os melhores números no que diz respeito ao tempo de execução total (tempo de ciclo) de todos os postos de trabalho. Abaixo está ilustrado um comparativo referente aos tempos médios acumulados de montagem dos operadores A e B.

Tabela 16. Comparação tempo acumulado montagem I e II

Montagem I x II				
Tempo	**Operador A**	**Operador A**	**Operador B**	**Operador B**
1	11:34	05:01	06:24	04:48
2	07:19	05:10	06:58	04:45
3	05:47	03:30	06:22	04:56
4	05:17	04:04	06:12	04:23
5	04:49	03:35	04:43	03:31
MÉDIA	06:57	04:16	06:07	04:28
D.PAD	0,11	0,03	0,04	0,02

Ao comparar a variação dos tempos médios, nota-se uma variação negativa de 36,68% para o operador A, isto, em termos práticos, significa uma diminuição dos tempos médios de montagem do produto. No que se refere ao operador B, este possuiu uma variação também negativa de 29,49%. Enquanto ao desvio padrão, assim como na média acumulada, também houve decréscimos, 72,73% para o operador A e 50% para o operador B. Nos aspectos acima analisados fica clara a viabilidade da proposta II.

Quanto a variação dos tempos por etapa de montagem, com a variação dos tempos acumulados, estes claramente sofreram variações percentuais em seus tempos. A mesma concepção se aplica para os cálculos do desvio padrão. A variação dos tempos médios por posto de trabalho, bem como seus respectivos desvios padrões esta exposto a seguir.

Tabela 17. Variação média por posto de trabalho

	Operador A - Montagem I			Operador B - Montagem I		
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 1	Posto 2	Posto 3
Tempo 1	03:01	05:32	03:01	02:11	02:09	02:04
Tempo 2	02:09	03:09	02:01	01:39	03:05	02:14
Tempo 3	02:07	02:19	01:21	01:43	02:48	01:51
Tempo 4	01:25	02:01	01:51	02:23	02:20	01:47
Tempo 5	02:17	01:17	01:15	01:15	02:23	01:05
MÉDIA	02:11	02:51	01:53	01:50	02:33	01:48
DESV.PAD	0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02
	Operador A - Montagem II			**Operador B - Montagem II**		
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 1	Posto 2	Posto 3
Tempo 1	01:21	01:56	01:44	02:05	01:18	01:25
Tempo 2	02:16	01:34	01:20	01:57	01:17	01:31
Tempo 3	01:11	01:13	01:06	01:59	01:25	01:32
Tempo 4	01:46	01:09	01:09	01:03	01:54	01:26
Tempo 5	01:09	01:13	01:13	00:48	01:28	01:15
MÉDIA	01:32	01:25	01:18	01:34	01:28	01:25
DESV.PAD	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,005
Δ Média	-37%	-50%	-23%	-11%	-45%	-16%
Δ Desv. Pad	0%	-86%	-67%	50%	-50%	-75%

Após todas as etapas de análises descritas, conclui-se que a proposta de montagem mais vantajosa para a montagem do Dispensador de Fita na Fábrica de Aprendizagem do laboratório de EGI é a proposta I. Esta escolha se justifica pela redução significativa dos tempos de montagem em todos os postos de trabalho e, consequentemente, no tempo total de montagem.

Há de ser destacado que não foi sugerida nenhuma outra proposta de montagem devido a fatores como: tempo excessivo de montagem, complexidade maior que o habitual e precedência de operações, por estes motivos, foram identificadas apenas duas possíveis ordens de montagem.

4. CONCLUSÃO

Neste capitulo serão abordadas as considerações finais da dissertação, tais como visão geral da dissertação, dificuldades enfrentadas pelo autor durante o processo de escrita e pesquisa e possíveis trabalhos futuros utilizando o presente projeto como base.

4.1. Visão geral da dissertação

A educação foi uma das poucas áreas da humanidade que não sofreu alteração nos últimos tantos anos. Áreas como a saúde, segurança, bem-estar e tantas outras áreas tiveram mudanças significativas desde o inicio de seu conceito. Identificar possíveis ferramentas com embasamento teórico que proporcionem experiências de aprendizado para os muitos alunos presentes no ensino superior é fundamental para o desenvolvimento de seus intelectos. Isto certamente influenciará na prestação de seus serviços a sociedade.

O emprego do conceito de Fábrica de Aprendizagem (*Learning Factory*) se justifica por justamente proporcionar aos alunos e/ou operadores prestes a ingressar em linhas de produção, a possibilidade de aprender fazendo (*Learning by Doing*). Sem a pressão de um ambiente real, o ambiente simulado oferece aos operadores e pesquisadores a liberdade de desenvolver novos conceitos que outrora não eram empregues no ambiente real. Outro fator relevante se refere ao ensino de métodos de produção que, no ambiente acadêmico, é visto com complexidade, poder oferecer aos alunos presentes nas academias os conceitos de forma aplicada, fora de um ambiente que para alguns é considerado maçante.

Deste modo, este trabalho vislumbrou o objetivo de realizar uma análise crítica relacionada a fábrica de aprendizagem contida no laboratório de Engenharia e Gestão Industrial – EGI, explorando com sucesso os aspectos positivos e negativos referente as tecnologias utilizadas na montagem do produto denominado por trabalhos passados como “Talocha”. Logo, foram identificados alguns problemas pertencentes ao processo de montagem do produto. Outra análise foi realizada, desta vez comparando a Fábrica de Aprendizagem do laboratório de EGI com outros laboratório presentes em instituições de ensino ao redor do mundo. Nesta segunda exploração comparativa, detectou-se um atraso do Lab-EGI relacionado a tecnologias empregadas no processo de montagem, sobretudo na funcionalidade dos produtos que estavam a ser montados nas fábricas estrangeiras.

Após a detecção da falta de funcionalidade do produto montado no Lab-EGI, inclinou-se a propor a Fábrica de Aprendizagem um novo produto que pudesse ser ainda mais complexo para montar e que pudesse possuir funcionalidade de aplicação. Portanto, foram selecionados 3 diferentes produtos possuindo tamanhos, aplicação e complexidade diversas a fim de selecionar um para ser proposto ao laboratório. O resultado da comparação entre os produtos resultou na escolha do dispensador de fita, o qual foi dissolvido em módulos e posteriormente foram sugeridas duas propostas de montagem para o produto. Ao fim, com a comparação dos tempos médios acumulados dos postos de montagem e dos tempos médios das operações, a proposta escolhida para ser sugerida à Fábrica de Aprendizagem foi a segunda proposta

4.2. Dificuldades enfrentadas

A maior dificuldade enfrentada foi relacionada ao tempo de execução do projeto. É sabido a situação pandêmica em que a humanidade atravessa atualmente, esta pandemia obrigou, em alguns momentos, o autor a mudar o escopo do projeto. Em um primeiro momento, a intenção desta dissertação tocava na aplicação de algumas ferramentas tecnológicas, posteriormente, devido ao tempo disponível para a conclusão do projeto foi necessário realizar a mudança de direção para a proposição de jogos de aprendizagem que possibilitariam a aprendizagens dos alunos de EGI, porém com o agravamento da situação de saúde pública no país que culminou no estreitamento das atividades do laboratório de Engenharia Industrial do departamento de Engenharia Mecânica – DEM, houve a necessidade de realizar a terceira e última mudança, a de propor um novo produto para a fábrica, embasado na falta de funcionalidade do produto atual.

Outra dificuldade encontrada no decorrer deste trabalho, foi a dificuldade em encontrar produtos que pudessem ser montados na Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI. É evidente que, ao analisar de maneira superficial alguns produtos, boa parte deles irão parecer que possam ser montados e desmontados com certo grau de facilidade. Não obstante, em uma parcela significativa dos casos, estes produtos possuem alguns componentes que necessitam de ferramentas ou máquinas específicas para operações como soldadura, por exemplo. Por isso, o processo para obter um produto que fosse de certa forma complexo, mas que de

igual modo fosse inteiramente montado e desmontado sem a necessidade de ferramentas que fugissem da realidade da Fábrica de Aprendizagem do laboratório de EGI, se deu de certa forma custoso, contudo foi superado com êxito.

4.3. Trabalhos futuros

Durante o período de realização deste trabalho, ou até mesmo etapas que não puderam ser alcançadas por conta do tempo limitado, notou-se a viabilidade de realização de outros projetos com a finalidade de desenvolver a Fábrica de Aprendizagem do laboratório de EGI. As sugestões destes projetos futuros são:

- Desenvolver ferramenta de transporte do produto sugerido por este trabalho entre os postos de trabalho. Foi sugerido por este projeto, um possível novo produto para ser montado na Fábrica de Aprendizagem Lab-EGI, contudo para que a linha de produção tenha ganhos de desempenho seria providencial a utilização de um meio de transporte entre os postos de trabalho;
- O capitulo 3.6 realiza uma comparação da fábrica de aprendizagem Lab-EGI em relação as fabricas de aprendizagem ao redor do mundo citadas na obra *Learning Factories – Concepts, Guidliness, Best – Pratices Examples* escrita por Abele, Mettermich e Tisch (2019), em uma posterior análise do capítulo é constatado que a Fábrica de Aprendizagem está não somente em desvantagem em relação ao seu produto, mas também em relação as tecnologias implantadas. Logo, faz-se necessário a realização de projetos que visem desenvolver do aspecto tecnológico a fábrica;
- Outro ponto importante na fabrica Lab-EGI que poderia ser desenvolvido através de trabalhos futuros, é o controle de estoque da fábrica. Projeta-se um crescimento linear nos próximos anos para a fábrica em questão, assim o número de produtos e componentes devem crescer de forma acelerada, por isso desenvolver projetos ligados a implementação ou estudos de viabilidade econômica que tenho com objetivo a implantação de sistemas MRP pode ser uma vantagem significativa ao laboratório;
- Assim como citado na subsecção 4.2, é necessário o desenvolvimento de jogos de aprendizagem que promovam de forma dinâmica o uso do Lab-EGI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, I., Cerrada, C., Cerrada, J. A., & Dies, V. (2011). RRTL: RFID Reader Topology Language. A language to manage RFID Reader's Networks. *Procedia Computer Science*. https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.07.115

Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., Hummel, V., & Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187

Aguilera, M., & Mendiz, A. (2003). Video games and education: (Education in the Face of a "Parallel School"). *Computers in Entertainment*. https://doi.org/10.1145/950566.950583

Alasdair Gilchrist. (2016). Industry 4.0 : The Industrial Internet of Things. In *Department of Trade, Investment and Innovation*.

Badurdeen, F., Marksberry, P., Hall, A., & Gregory, B. (2010). Teaching lean manufacturing with simulations and games: A survey and future directions. *Simulation and Gaming*. https://doi.org/10.1177/1046878109334331

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, *229*, 107776. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776

Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1245–1252. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045

Bartevyan, L. (2015). Industry 4.0 - Summary report. In *DLG-Expert Report*.

Baur, C. (2015). *Manufacturing's next act*. Mckinsey.Com.

Bigliardi, B., Bottani, E., & Casella, G. (2020). Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: A bibliographic analysis. *Procedia Manufacturing*, *42*(2019), 322–326. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.086

Bowden, J., & Marton, F. (1999). The University of Learning:992 The University of Learning: Beyond Quality and Competence . London: Kogan Page 1998. . *Education + Training*. https://doi.org/10.1108/et.1999.41.5.ii.2

Calero Valdez, A., Brauner, P., Schaar, A. K., Holzinger, A., & Ziefle, M. (2015). Reducing Complexity with Simplicity - Usability Methods for Industry 4.0. *19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2015)*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4253.6809

Chung, H. (2018). ICT investment-specific technological change and productivity growth in Korea: Comparison of 1996–2005 and 2006–2015. *Telecommunications Policy*. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.08.005

Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019

Daniel L. Schmoldt, Jyrki Kangas, Guillermo A. Mendoza, Mauno Pesonen. (2001). The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmenta. *Springer Science Business Media Dordrecht*.

Davis, B., & Summers, M. (2015). Applying Dale's Cone of Experience to increase learning and retention: A study of student learning in a foundational leadership course. *QScience Proceedings*. https://doi.org/10.5339/qproc.2015.elc2014.6

Dombrowski, U., Zahn, T., & Schmidt, S. (2008). Hindernisse bei der Implementierung von Ganzheitlichen Produktionssystemen. *Industrial Engineering*.

Dondlinger, M. (2007). Educational Video Game Design: A Review of the Literature. *Journal of Applied Educational Technology*.

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2010). Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing. In *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9

Gil, A. C. (2008). metodos e tecnicas de pesquisa social. In *Métodos e técnicas de pesquisa social*.

Hajdu, M. (2015). Continuous Precedence Relations for Better Modelling Overlapping Activities. *Procedia Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.080

Hamzeh, R., Zhong, R., & Xu, X. W. (2018). A Survey Study on Industry 4.0 for New Zealand Manufacturing. *Procedia Manufacturing*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.007

Hubert Backhaus, S. K., & Nadarajah, D. (2019). Investigating the relationship between industry 4.0 and productivity: A conceptual framework for Malaysian manufacturing firms. *Procedia Computer Science*. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.173

Hussaan, A. M., Sehaba, K., & Mille, A. (2011). Tailoring serious games with adaptive pedagogical scenarios: A serious game for persons with cognitive disabilities. *Proceedings of the 2011 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2011*. https://doi.org/10.1109/ICALT.2011.152

Ismailović, D., Haladjian, J., Köhler, B., Pagano, D., & Brügge, B. (2012). Adaptive serious game development. *2012 2nd International Workshop on Games and Software Engineering: Realizing User Engagement with Game Engineering Techniques, GAS 2012 - Proceedings*. https://doi.org/10.1109/GAS.2012.6225922

Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014*. https://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843

Jorgensen, J. E., Lamancusa, J. S., Zayas-Castro, J. L., & Ratner, J. (1995). The Learning Factory - Curriculum Integration of Design and Manfacturing. *Proceedings of the Fourth World Conference on Engineering Education*.

Kashkoush, M., & ElMaraghy, H. (2013). Matching bills of materials using tree reconciliation. *Procedia CIRP*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.029

Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R., & Schrauf, S. (2014). Industry 4.0 - Opportunities and challenges of the industrial internet. *Strategy& Formerly Booz & Company, PwC*.

Kozel, S. (2019). *Mapas Mentais: Dialogismo e Representações*. Editora Appris. https://books.google.com.br/books?id=qAC1DwAAQBAJ

Kreimeier, D., Bakir, D., Krückhans, B., & Rainfurth, C. (2013). Learning factory for resource efficiency - Practical education in the context of resource efficiency [Lernfabrik für ressourceneffizienz - Praxisnahe und -gerechte bildung im kontext der ressourceneffizienz]. *Productivity Management*.

Kreimeier, D., Bakir, D., Krückhans, B., & Rainfurth, C. (2013). Lernfabrik für ressourceneffizienz - Praxisnahe und -gerechte bildung im kontext der ressourceneffizienz. *Productivity Management*.

Kreimeier, D., Morlock, F., Prinz, C., Krückhans, B., & Bakir, D. C. (2014). Holistic learning factories - A concept to train lean management, resource efficiency as well as management and organization improvement skills. *Procedia CIRP*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.040

Lamancusa, J. S., Jorgensen, J. E., & Zayas-Castro, J. L. (1997). Learning Factory - a new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curriculum. *Journal of Engineering Education*. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1997.tb00272.x

Lamancusa, J. S., Zayas, J. L., Soyster, A. L., Morell, L., & Jorgensen, J. (2008). The learning factory: Industry-partnered active learning. *Journal of Engineering Education*. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00949.x

Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. In *International Journal of Production Research*. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576

Liker, J., & Meier, D. (2007). Toyota Talent, Developing your people the Toyota Way. In *American Media International*.

Lima Sousa, C. (2015). Análise epistemológica sobre estratégias de aprendizagem que favorecem o processo de ensino-aprendizagem nos estudantes de ensino superior. *SAPIENTIAE*.

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. In *Journal of Industrial Information Integration*. https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005

Noraziah, A., Syafiq Johari, M., Herawan, T., Sidek, R. M., Lee, H. C., & Abdalla, A. N. (2011). Managing Registration of New Student Intake using ORNSIS-Integrated Barcode Technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.11.029

Ooi, K. B., Lee, V. H., Tan, G. W. H., Hew, T. S., & Hew, J. J. (2018). Cloud computing in manufacturing: The next industrial revolution in Malaysia? *Expert Systems with Applications*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.10.009

Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., De Amicis, R., Pinto, E. B., Eisert, P., Döllner, J., & Vallarino, I. (2015). Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*. https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45

Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-physical systems: The next computing revolution. *Proceedings - Design Automation Conference*. https://doi.org/10.1145/1837274.1837461

Reiner, A. (2014). Industrie 4 . 0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. *International Seminar on High Technology*.

Rentzos, L., Doukas, M., Mavrikios, D., Mourtzis, D., & Chryssolouris, G. (2014). Integrating manufacturing education with industrial practice using teaching factory paradigm: A construction equipment application. *Procedia CIRP*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.126

Raulino. Mario Felipe (2013). *RaspberryPi e RFID no Monitoramento de Atividades de Natacção.* São José.

Schank, R. C., Berman, T. R., & Macpherson, K. A. (2013). Learning by doing. In *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory*. https://doi.org/10.4324/9781410603784-14

Schmeck, R. R. (1988). INDIVIDUAL DIFFERENCES AND LEARNING STRATEGIES. In *Learning and Study Strategies*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-742460-6.50016-5

Schreyögg, G. (2008). Front Matter. *Organisation. Grundlagen Moderner Organisationsgestaltung*.

Severengiz, M., Seliger, G., & Krüger, J. (2020). Serious Game on Factory Planning for Higher Education. *Procedia Manufacturing*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.148

Silveira, D. T., & Gerhardt, T. E. (2009). Método de Pesquisa. In *UFRGS Editora*.

Slaus, I. (2003). Political significance of knowledge in Southeast Europe. *CROATIAN MEDICAL JOURNAL*.

Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0 – Are we ready? *Polish Journal of Management Studies*. https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.1.19

Sudhoff, M., Prinz, C., & Kuhlenkötter, B. (2020). A systematic analysis of learning factories in Germany - Concepts, production processes, didactics. *Procedia Manufacturing*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.081

Thoben, K. D., Wiesner, S. A., & Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. In *International Journal of Automation Technology*. https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004

Tisch, M., & Metternich, J. (2017). Potentials and Limits of Learning Factories in Research, Innovation Transfer, Education, and Training. *Procedia Manufacturing*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.027

Tısch, M., Ranz, F., Abele, E., Metternıch, J., & Vera, H. (2015). Learning factory morphology – Study of form and structure of an innovative learning approach in the manufacturing domain. *Turkish Online Journal of Educational Technology*.

Urso, O., Chiacchio, F., Compagno, L., & D'Urso, D. (2020). An RFID application for the process mapping automation. *Procedia Manufacturing*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.017

Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 - A Glimpse. *Procedia Manufacturing*. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (1993). VDI 2221:1993 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. *Verein Deutscher Ingenieure*.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (1993). VDI 2221:1993 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. *Verein Deutscher Ingenieure*, *06*, 1–44.

Veza, I., Gjeldum, N., & Mladineo, M. (2015). Lean learning factory at FESB - University of Split. *Procedia CIRP*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.223

Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., & Müller, E. (2014). Product family design for changeable learning factories. *Procedia CIRP*. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.119

Wan, J., Cai, H., & Zhou, K. (2015). Industrie 4.0: Enabling technologies. *Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things, ICIT 2015*. https://doi.org/10.1109/ICAIOT.2015.7111555

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. https://doi.org/10.1155/2016/3159805

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking−banish waste and create wealth in your corporation. In *Journal of the Operational Research Society*. https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600967

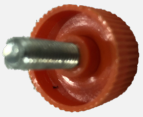
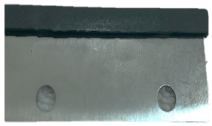
Womack, J., & Jones, D. (2003). Lean Thinking Intro and Chapter 1. In *Lean Thinking*.

Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806

Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*. https://doi.org/10.1109/MC.2005.297

APÊNDICE A: COMPONENTS PERTENCENTES AO DISPENSADOR DE FITA

Código	Imagem	Descrição
1		Pegador
2		Peça em Ferro Cromado
3		Mola de Resistência
4		Pino
5		Chapa Maior
6		Aparador
7		Suporte para Fita
8		Tubo de Encaixe para Fixador de Fita
9		Rosca

10		Mola
11		Parafuso
12		Esticador
13		Conector de Chapa
14		Lâmina
15		Fixador Da Lâmina
16		Tubo de Encaixe para Bobina
17		Bobina
18		Chapa Menor

Parafusos		Parafusos Grande, Médio e Pequeno

APÊNDICE B: TEMPOS DE MONTAGEM ACUMULADO - PROPOSTA I E II

PROPOSTA I			
Dominick		***Victor***	
Tempo 1		**Tempo 1**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	03:01	1	02:11
2	05:32	2	02:09
3	03:01	3	02:04
TOTAL	**11,34**	**TOTAL**	**06:24**
Tempo 2		**Tempo 2**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	02:09	1	01:39
2	03:09	2	03:05
3	02:01	3	02:14
TOTAL	**07:19**	**TOTAL**	**06:58**
Tempo 3		**Tempo 3**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	02:07	1	01:43
2	02:19	2	02:48
3	01:21	3	01:51
TOTAL	**05:47**	**TOTAL**	**06:22**
Tempo 4		**Tempo 4**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	01:25	1	02:23
2	02:01	2	02:02
3	01:51	3	01:47
TOTAL	**05:17**	**TOTAL**	**06:12**
Tempo 5		**Tempo 5**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	02:17	1	01:15
2	01:17	2	02:23
3	01:15	3	01:05
TOTAL	**04:49**	**TOTAL**	**04:43**

PROPOSTA II			
Operador A		***Operador B***	
Tempo 1		**Tempo 1**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	01:21	1	02:05
2	01:56	2	01:18
3	01:44	3	01:25
TOTAL	**05:01**	**TOTAL**	**04:48**
Tempo 2		**Tempo 2**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	02:16	1	01:57
2	01:34	2	01:17
3	01:20	3	01:31
TOTAL	**05:10**	**TOTAL**	**04:45**
Tempo 3		**Tempo 3**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	01:11	1	01:59
2	01:13	2	01:25
3	01:06	3	01:32
TOTAL	**03:30**	**TOTAL**	**04:56**
Tempo 4		**Tempo 4**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	01:46	1	01:03
2	01:09	2	01:54
3	01:09	3	01:26
TOTAL	**04:04**	**TOTAL**	**04:23**
Tempo 5		**Tempo 5**	
Etapa	Tempo (m,s)	Etapa	Tempo (m,s)
1	01:09	1	00:48
2	01:13	2	01:28
3	01:13	3	01:15
TOTAL	**03:35**	**TOTAL**	**03:31**

APÊNDICE C: TEMPOS DE MONTAGEM POR POSTO DE TRABALHO – PROPOSTA I E II

	PORPOSTA I									
	OPERADOR A					*OPERADOR B*				
	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5
Posto 1	03:01	02:09	02:07	01:25	02:17	02:11	01:39	01:43	02:23	01:15
Posto 2	05:32	03:09	02:19	02:01	01:17	02:09	03:05	02:48	02:20	02:23
Posto 3	03:01	02:01	01:21	01:51	01:15	02:04	02:14	01:51	01:47	01:05

	PROPOSTA II									
	OPERADOR A					*OPERADOR B*				
	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5
Posto 1	01:21	02:16	01:11	01:46	01:09	02:05	01:57	01:59	01:03	00:48
Posto 2	01:56	01:34	01:13	01:09	01:13	01:18	01:17	01:25	01:54	01:28
Posto 3	01:44	01:20	01:06	01:09	01:13	01:25	01:31	01:32	01:26	01:15