1 2 9 0

UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Gilda Alfredo Miambo

Implementação de uma Fábrica de Aprendizagem no Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo Professor Doutor Cristóvão Silva e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Fevereiro de 2021

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Implementação de uma Fábrica de Aprendizagem no Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial

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

Implementation of a Learning Factory in the Engineering and Industrial Management Laboratory

Autor

Gilda Alfredo Miambo

Orientador

Professor Doutor Cristóvão Silva

Júri

Presidente	**Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes** **Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra**
Vogais	**Professor Doutor Cristóvão Silva** **Professor Associado da Universidade de Coimbra** **Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz** **Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Viseu**

Coimbra, Fevereiro, 2021

I’m working to improve my methods, and every hour that I save is an hour added to my life

Ayn Rand

Agradecimentos

Endereço o meu especial agradecimento ao Professor Doutor Cristóvão Silva que sempre esteve disponível quando precisava, motivando-me e sobretudo confiando na minha capacidade.

Ao Professor Pedro Coelho pelos ensinamentos, dedicação e a disponibilização do laboratório para a construção passo a passo das etapas subjacentes ao trabalho. Acima de tudo, pelo apoio naquelas ocasiões difíceis deste percurso.

Ao Dr. Helénio Nuaila por permitir a concretização deste Mestrado numa das Universidades mais renomeadas de Portugal sobretudo por pelo apoio financeiro o qual contribuiu para a finalização do curso.

Aos meus pais por sempre acreditarem em mim, pelas palavras motivadoras em momentos difíceis desta jornada que apesar da distância que nos separa sempre estiveram comigo em pensamentos.

Enfim, agradeço ao Universo pela sabedoria e por colocar no meu percurso académico pessoas que se mostravam dispostas em contribuir com o meu desenvolvimento intelectual e emocional em que o resultado se traduz nesta dissertação enriquecida por conteúdos relevantes.

Resumo

O conceito de Fábrica de Aprendizagem vem imprimindo um novo paradigma de educação de engenheiros na área de manufatura através de uma prática orientada a ação num ambiente de aprendizagem próximo a realidade. O estudo assenta-se na metodologia de investigação exploratória descritiva em que é aplicado a técnica *Snowball* com vista a recuperar referências de informação a partir das referências geradas na pesquisa das seguintes palavras chaves *learning factory* AND *lean manufacturing*, *learning factory* AND *industrie 4.0*, *lean manufacturing* OR *industrie 4.0, learning factory* AND *barcodes, barcodes AND industrie 4.0*. e *barcodes AND* ERP. Outra metodologia utilizada consiste num estudo de caso que é aplicado no Laboratório do curso de Engenharia e Gestão Industrial com o objetivo de implementar uma Fábrica de Aprendizagem para o ensino dos alunos orientado a ação na área de *Lean Manufaturing*. Com base nos requisitos da FabEGI é proposto um produto a ser montado na linha de montagem que permita o desenvolvimento de atividades no que concerne aos conceitos *Lean*, *Bill of Materials*, construção da árvore do produto, teoria de restrições, medição de tempos, balanceamento de linha e a comparação do produto testado com o produto recebido. De modo a integrar conceitos básicos da indústria 4.0 na FabEGI é concebida uma Aplicação de geração de tempos através da leitura de códigos de barras. A utilização da Aplicação mostra-se eficiente em termos dos objetivos definidos e particularmente constitui um sistema de fácil manuseio tanto para os alunos assim como para os professores. Os resultados obtidos validam a aplicação do produto proposto na FabEGI visto que apresenta um *cicle time* de 3,13 minutos garantindo assim um fluxo de trabalho eficiente. Além disso, possui vários componentes que possibilitam a realização de diversas atividades de aprendizagem para os alunos. E quanto ao uso da Aplicação de geração de tempos os resultados justificam a substituição das atividades de cronometragem de tempo com equipamentos convencionais para um sistema semiautomático de geração de tempos relativos a operações de montagem.

Palavras-chave: Fábrica de Aprendizagem, Indústria 4.0, Serious Games, Desenvolvimento de competências, Aplicação de código de barras.

Abstract

The Learning Factory concept has been printing a new paradigm of education of engineers in the manufacturing area through an action-oriented practice in a learning environment close to reality. The study is based on the descriptive exploratory research methodology in which the Snowball technique is applied in order to retrieve information references from the references generated in the search for the following keywords learning factory AND lean manufacturing, learning factory AND industrie 4.0, lean manufacturing OR industrie 4.0, learning factory AND barcodes, barcodes AND industrie 4.0, ERP AND barcodes. Another methodology consists of a case study that is applied in the Laboratory of the Industrial Engineering and Management course with the objective of implementing a Learning Factory for the teaching of students oriented to action in the area of Lean Manufacturing. Based on the requirements of FabEGI, a product is proposed to be assembled on the assembly line that allows the development of activities regarding Lean concepts, Bill of Materials, construction of the product tree, theory of restrictions, measurement of time, balancing of line and the comparison of the tested product with the received product. In order to integrate basic concepts of industry 4.0 at FabEGI, a Time Generation Application is designed by reading bar codes. The use of the Application proves to be efficient in terms of the defined objectives and in particular it constitutes an easy to use system for both students and teachers. The results obtained validate the application of the product proposed in FabEGI since it has a cycle time of 3.13 minutes, thus ensuring an efficient workflow. In addition, it has several components that make it possible to carry out various learning activities for students. As for the use of the Time Generation Application, the results justify replacing the timekeeping activities with conventional equipment for a semi-automatic time generation system related to assembly operations.

Keywords: Learning Factory, Industrie 4.0, Serious Games, Skills development, Barcode application.

Índice

Índice de Figuras xi
Índice de Tabelas xiii
Siglas xv
Siglas xv
1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Justificativa 2
1.1.1. Objetivo Geral 3
1.2. Metodologia 3
1.2.1. Método de investigação 3
1.2.2. Amostra e Recolha de dados 4
2. REVISÃO DE LITERATURA 5
2.1. Contexto histórico das Fábricas de Aprendizagem 6
2.2. Definição de Fábricas de Aprendizagem 7
2.3. Características das Fábricas de Aprendizagem 9
2.4. Benefícios e limitações das Fábricas de Aprendizagem 13
2.4.1. Benefícios das Fábricas de Aprendizagem 13
2.4.2. Limitações das Fábricas de Aprendizagem 14
2.5. Fábricas de Aprendizagem no contexto de *Industrie 4.0* 16
2.6. Fábricas de Aprendizagem no contexto de *Lean Manufacturing* 18
2.7. Códigos de Barras 19
2.7.1. Vantagens do código de barras 21
2.7.2. Vulnerabilidade e Limitações do código de barras 22
2.8. Aplicação dos códigos de barras na Indústria de Manufatura 23
3. IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FÁBRICA DE APRENDIZAGEM 25
3.1. Descrição do LabEGI 26
3.1.1. Análise dos equipamentos do LabEGI 26
3.2. Industrialização do LabEGI 34
3.2.1. Design do produto 35
3.2.2. Lista de material 38
3.2.3. Operações de montagem 40
3.2.4. Balanceamento da linha de montagem 44
4. PROPOSTA DIDÁTICA PARA A FabEGI 49
4.1. Atividades para FabEGI 49
4.1.1. Atividade 1 50
4.1.2. Atividade 2 51
4.1.3. Atividade 3 52
4.1.4. Atividade 4 53
5. DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO INTEGRADA AO LEITOR DE CÓDIGO DE BARRAS PARA RECURSO DIDÁTICO NA FabEGI 59
5.1. Descrição da Aplicação 59
5.2. Processo de programação 60
5.3. Restrições de programação 60
5.4. Geração das etiquetas de código de barras 61

5.4.1. *Download* da etiqueta de código de barras 62
5.4.2. Impressão da etiqueta de código de barras 62
5.5. Processo de funcionamento da Aplicação 63
5.5.1. Processo de descompactação da Aplicação 64
5.5.2. Cadastro dos usuários 64
5.5.3. Processo de *login* para usuários cadastrados 65
5.5.4. Leitura de código de barras 66
6. Conclusões 69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73
ANEXO A: DIMENSÃO OPERACIONAL 79
ANEXO B: DIMENSÃO DE PROPÓSITO E GRUPO ALVO 79
ANEXO C: DIMENSÃO DE PROCESSO 80
ANEXO D: DIMENSÃO DE CONFIGURAÇÃO 80
ANEXO E: DIMENSÃO DE PRODUTO 81
ANEXO F: DIMENSÃO DE DIDÁTICA 81
ANEXO G: MÉTRICAS 82
APÊNDICE A: COMPONENTES A FABRICAR E AS ZONAS DE DESGASTES 83
APÊNDICE B: TEMPOS DE IMPRESSÃO 3D DOS COMPONENTES 84
APÊNDICE C: VISTA EXPLODIDA DO DESENHO DO PRODUTO TESTADO 85
APÊNDICE D: AMOSTRAS DE MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE MONTAGEM 86
APÊNDICE E: HEURÍSTICA DOS PESOS PESADOS 87
APÊNDICE F: PLANILHA *BILL OF MATERIALS* 89
APÊNDICE G: PLANILHA PARA OPERAÇÕES DE MONTAGEM E PRECEDÊNCIAS 90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Processo evolutivo das Fábricas de Aprendizagem 7
Figura 2.2. Recursos Necessários no Ciclo de Vida da FA 14
Figura 2.3. Tipos de código de barras 21
Figura 3.1. Fluxo de Trabalho 34
Figura 3.2. Proposta do Produto 37
Figura 3.3. Árvore do Produto 40
Figura 3.4. Diagrama de precedências 43
Figura 3.5. Evolução dos tempos médios de processamento de operações 44
Figura 3.6. *Layout* da FabEGI 46
Figura 3.7. Diagrama de *Spaghetti* 47
Figura 3.8. Linha de montagem balanceada 48
Figura 4.1. Módulos de Aprendizagem 49
Figura 4.2. Produtos disponíveis na FabEGI 54
Figura 4.3. Análise SWOT 55
Figura 5.1. Geração automática da etiqueta do código de barras 61
Figura 5.2. *Download* da etiqueta do código de barras 62
Figura 5.3. Etiqueta de código de barras 62
Figura 5.4. Estrutura operacional da Aplicação 63
Figura 5.5. Descompactação da Aplicação 64
Figura 5.6. Cadastro dos usuários 65
Figura 5.7. *Login* dos usuários 65
Figura 5.8. Leitura de código de barras 66
Figura 5.9. Histórico dos tempos de montagem 67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Análise do produto atual 27
Tabela 3.2. Análise de postos de trabalho 27
Tabela 3.3. Análise das tecnologias do LabEGI 28
Tabela 3.4. Processo de utilização dos equipamentos do LabEGI 29
Tabela 3.5. Modelo operacional 30
Tabela 3.6. Objetivos e Metas do LabEGI 30
Tabela 3.7. Processo do LabEGI 31
Tabela 3.8. Configuração do LabEGI 32
Tabela 3.9. Produto do LabEGI 32
Tabela 3.10. Processo Didático do LabEGI 33
Tabela 3.11. Lista de material 39
Tabela 3.12. Operações de montagem e precedências 42
Tabela 3.13. Tempos médios de processamento das operações 43
Tabela 3.14. Tempo disponível de trabalho 45
Tabela 3.15. Afetação das operações por posto de trabalho 48
Tabela 4.1. Transformação de competências do módulo Introdução do produto 50
Tabela 4.2. Transformação de competências do módulo Análise do produto 52
Tabela 4.3. Transformação de competências do módulo Sequências de montagem do produto 53
Tabela 4.4. Transformação de competências do módulo Sequências de Comparação dos produtos 56
Tabela 4.5. Sequência de situações de problemas para as atividades propostas 57

SIGLAS

Siglas

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FA – Fábrica de Aprendizagem

FabEGI – Fábrica de Engenharia e Gestão Industrial

GCFA – Guia Curricular das Fábricas de Aprendizagem

LabEGI – Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial

PDCA – Planeamento, Acão, Verificação e Atuação

RFID – Identificação por Rádio Frequência

SMED – Troca Rápida de Ferramentas

SWOT – Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças

1. INTRODUÇÃO

A implementação de novos paradigmas de ensino-aprendizagem capazes de proporcionar uma educação altamente qualificada constituí um objeto de estudo no qual vários autores se têm dedicado a fim de alcançar um aprimoramento no desenvolvimento de competências e na transferência de conhecimento através da adoção de estratégias eficazes de ensino tendo em conta a crescente atualização de tecnologias. A inserção de estratégias eficazes de ensino possui benefícios para as empresas garantindo-as elevada competitividade através da mão-de-obra qualificada e com disposição de agir independentemente em situações desafiadoras do contexto profissional.

Diante disto, a abordagem de Fábrica de Aprendizagem torna-se uma opção válida para a transferência de conhecimentos e competências visto que apresenta na sua estrutura mecanismos de aprendizagem orientada para ação tornando o ensino centrado no aluno. Até porque, de acordo com Abele et al. (2017) a abordagem de Fábrica de Aprendizagem representa um conceito eficiente e eficaz de transmissão de conhecimento e transferência de competências particularmente no contexto industrial.

Atualmente as Fábricas de Aprendizagem para o contexto industrial são orientadas para um vasto leque de aplicação, mas, no estudo em desenvolvimento cabe apenas direciona-las para o ensino de *Lean Manufacturing* e *Industrie 4.0.*

Tradicionalmente, o ensino de *Lean Manufaturing* e *Industrie 4.0* dá-se apenas numa sala de aula em forma de palestras levando a uma aprendizagem passiva e aborrecida. Dentro desta linha de pensamento, a adoção da abordagem Fábrica de Aprendizagem rompe com esta limitação e ajuda as Universidades a melhorar o sistema de ensino destes conceitos.

1.1. Justificativa

O interesse por este tema justifica-se pela necessidade de oferecer um contributo na formação aos futuros engenheiros do Curso de Engenharia e Gestão Industrial do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra incrementando nas suas unidades curriculares cenários que acentuem o envolvimento dos alunos através de uma experiência prática permitindo a aplicação do conhecimento teórico na resolução de problemas reais do curso.

A incapacidade dos futuros engenheiros em estabelecer analogias e aplicar os conhecimentos teóricos transferidos em forma de palestras na sala de aulas potencializa a utilização de novas abordagens de ensino capazes de garantir uma formação eficaz e consequentemente preparação dos futuros engenheiros para o mercado de trabalho em constante mudança.

As Fábricas de Aprendizagem constituem uma alternativa adequada para a formação de engenheiros. Uma vez que se trata de uma abordagem que se expandiu nas instituições de ensino superior europeias através da criação da Rede de Fábricas de Aprendizagem Europeias orientada para a educação na área de produção e, vem sendo usada desde os meados de 2000 como recurso de suporte para criação de cenários de ensino que integrem os conhecimentos teóricos num contexto prático.

A utilização das Fábricas de Aprendizagem pelas Universidades promove motivação no processo de construção de conhecimento dos alunos e por outro lado torna as Universidades competitivas no mercado em relação ás outras que não implementam esta abordagem no seu curriculum de ensino (Tvenge e Ogorodnyk, 2018).

Desde modo, o desenvolvimento de uma Fábrica de Aprendizagem no Laboratório de EGI que aborda tópicos de *Lean Manufaturing* tem em vista proporcionar um ambiente próximo da realidade industrial em que o aluno possa presenciar desafios e resolver problemas típicos de um ambiente industrial.

1.1.1. Objetivo Geral

Propor um plano de desenvolvimento do Laboratório EGI em uma Fábrica de Aprendizagem de maneira a oferecer um ensino-aprendizagem ativo num ambiente próximo à realidade industrial na área de *Lean Manufaturing.*

1.2. Metodologia

Estudo apresentado por Martelli et al. (2020) aborda o conceito de metodologia e afirma que se trata dum processo racional afim de se alcançar a resolução de um determinado problema. Assim, pretende-se apresentar nesta secção o método de recolha de dados adequado para este estudo.

1.2.1. Método de investigação

De modo que o estudo seja elaborado com êxito cumprindo os objetivos é proposto o método de investigação do tipo exploratório. O método exploratório permite a obtenção, delimitação, orientação de informações com a finalidade de responder aos objetivos da investigação (Martelli et al., 2020).

Em primeira instância, as informações são apresentadas de forma descritiva como forma de facilitar a compreensão dos aspetos chaves para a elaboração do estudo. Para isso são consultados os bancos de dados de *Sciencedirect.com*, *Scopus*, *Taylor and Francis*, *GoogleSchool* e o livro *Learning Factory* onde efetua-se uma busca pelas palavras chaves *learning factory* AND *lean manufacturing*, *learning factory* AND *industrie 4.0*, *lean manufacturing* OR *industrie 4.0, learning factory* AND *barcodes, barcodes AND industrie 4.0*. e *barcodes AND* ERP. As referências geradas são selecionadas e lidas utilizando a técnica de investigação *Snowball* com o objetivo de recuperar referências de informação a partir das referências geradas (Andr et al., 2020).

Numa última instância, em conformidade com os dados qualitativos recolhidos procede-se para o estudo de caso onde é apresentado com maior detalhe a descrição do problema de investigação e os seus resultados. Assim, este estudo é direcionado ao Laboratório do Departamento de Engenharia Mecânica como objeto de estudo de modo a avaliar e validar o seu potencial em implementar uma abordagem de FA.

1.2.2. Amostra e Recolha de dados

A amostra do estudo não é definida devido às particularidades do tema e as condições de restrições observadas na época de pandemia do Covid. Note-se que, numa perspetiva ideal a seleção da amostra seria constituída por grupo de alunos do curso de Engenharia e Gestão Industrial com o intuito de recolher informações sobre o quão eficaz é a aprendizagem de conceitos de *Lean Manufacturing* num ambiente de Fábrica de Aprendizagem através de instrumentos de recolha de informação tais como entrevistas estruturas e questionários.

Porém no cenário real os dados e os resultados são obtidos através de observação simples e experimentos aos fenómenos a analisar. A partir da observação simples pretende-se compreender o funcionamento do Laboratório em termos da sua capacidade, número de inventário, disposição dos equipamentos, caraterísticas como também o seu princípio de funcionamento. Além disso, esta observação possibilita desvendar os pontos fortes e fracos dos equipamentos.

Paralelamente a isto, são realizados vários experimentos no Laboratório diretamente associados a linha de montagem e ao desenvolvimento de uma Aplicação utilizando a tecnologia de códigos de barras proposta para a geração de tempos de montagem. Estes experimentos culminam com a proposta de atividades para o desenvolvimento de competências requeridas numa realidade industrial e consequentemente manter os alunos envolvidos e motivados.

A obtenção dos resultados do estudo é acompanhada e avaliada por professores especialistas na área de Engenharia e Gestão Industrial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

As diferentes formas de abordar o conceito de Fábrica de Aprendizagem podem ocasionar erros na sua compreensão. Uma vez que numa perspetiva histórica as Fábricas de Aprendizagem assumem variedades de conceptualização e quanto mais este termo se expandia mais difícil era categoriza-lo e delimita-lo.

Ao longo dos anos foram criadas metodologias que facultassem a definição das Fábricas de Aprendizagem quanto aos objetivos, segmento, publico alvo, *output* e processo operacional. Tendo dito isto, este capítulo inicia com a conceptualização das Fábricas de Aprendizagem dando enfâse desde a fase do seu surgimento até a expansão mundial, por forma a definir uma base de sustento para a sua caracterização e aplicação. A partir do estágio do surgimento até a expansão são analisadas e discutidas as diferentes fases que a abordagem de Fábrica de Aprendizagem foi utilizada.

Em seguida procura-se ilustrar e explicar os benefícios e limitações das Fábricas de Aprendizagem num contexto amplo de utilização e apresenta-se os níveis de *design* para a formulação de cenários de aprendizagem de modo a perceber como o curriculum de uma FA deve ser elaborado, aplicado e validado na prática.

Uma vez que a implementação da FabEGI é orientada para os tópicos de *Lean Manufacturing* e *Industrie 4.0* é então necessário realizar algumas considerações em torno destes conceitos no contexto de Fábrica de Aprendizagem.

Fora a apresentação dos conceitos relacionados diretamente com a abordagem de Fábrica de Aprendizagem, introduzem-se neste capítulo conceitos básicos relativos a tecnologia de código de barras de forma a fundamentar a escolha desta tecnologia no desenvolvimento de uma Aplicação de geração de tempos de montagem. Além disso, discutem-se os conceitos de código de barras, tipos e a sua aplicação no setor de manufatura.

2.1. Contexto histórico das Fábricas de Aprendizagem

A primeira abordagem de Fábrica de Aprendizagem conhecida foi introduzida no Instituto de *Loughborough* no ano de 1916. A criação desta fábrica justifica-se pela necessidade de fornecer habilidade para a mão-de-obra com vista a fabricar instrumentos de Guerra (Gento et al., 2020). Vale ressaltar que nessa época não se tinha a compreensão exata do que era uma Fábrica de Aprendizagem e só posteriormente foram surgindo outras Fábricas com um conceito semelhante e outras nem por isso.

Neste sentido, a próxima fábrica terá sido estabelecida e patenteada por *Bernard M. Gordon* na *Penn State University* nos meados de 1994, levando desta forma o conceito de Fábrica de Aprendizagem para dentro das Universidades pela primeira vez na história. Por se tratar de um contexto de educação houve a necessidade de reformular e incrementar os seus objetivos, resultando em transmissão de ensino para os alunos baseados em projetos realizados em parceria com a Indústria (*Penn State University*, 2017).

Portanto, pode se notar que foi nessa altura que foi consagrada a primeira experiência de colaboração entre uma Fábrica de Aprendizagem e uma Indústria focando na aprendizagem orientada à ação. Ao longo do tempo a Fábrica de Aprendizagem da *Penn State University* incrementou um conceito de Inovação em Educação de Engenharia para acentuar a resolução de problemas reais de engenharia e a fabricação de produtos para posteriormente serem disponibilizados no mercado (Lamancusa et al., 2008)

No ano de 2000, observava-se o aparecimento de um novo conceito contrariamente ao de Fábrica de Aprendizagem designado por *Teaching Factory* com origem na área de conhecimento de Medicina. O foco desta fábrica concentrava-se em proporcionar uma experiência hospitalar real. Este fato evidencia que existe semelhança nos termos Fábrica de Aprendizagem e *Teaching Factory* no que tange ao propósito e metas.

Além da conceção de Fábricas de Aprendizagem orientadas à educação, na Alemanha existe outra Fábrica de Aprendizagem destinada ao treino de trabalhadores na área de Fabricação Integrada por Computador.

Na *Initiative on European Learning Factories* (2012), foi definida e discutida a fase referente a expansão das Fábricas de Aprendizagem orientadas para o futuro da manufatura pela Europa. Neste sentido houve a necessidade de padronização de indicadores classificadores das fábricas com o intuito de se ter uma compreensão comum delas. Por isso, em 2014 a *CIRP CWG* estabeleceu os indicadores relevantes para a compressão comum do

conceito de Fábrica de Aprendizagem traduzidos por dimensões do processo, produto, configuração e objetivos, métricas e didática que serão aprofundadas nas secções posteriores.

É notável que as evoluções das abordagens das Fábricas de Aprendizagem ocorreram com base nas tendências atuais e globais e sobretudo de acordo com os objetivos principais das fábricas. A figura 2.1 pretende mostrar o paralelismo do processo evolutivo do conceito de Fábrica de Aprendizagem ao longo dos anos.

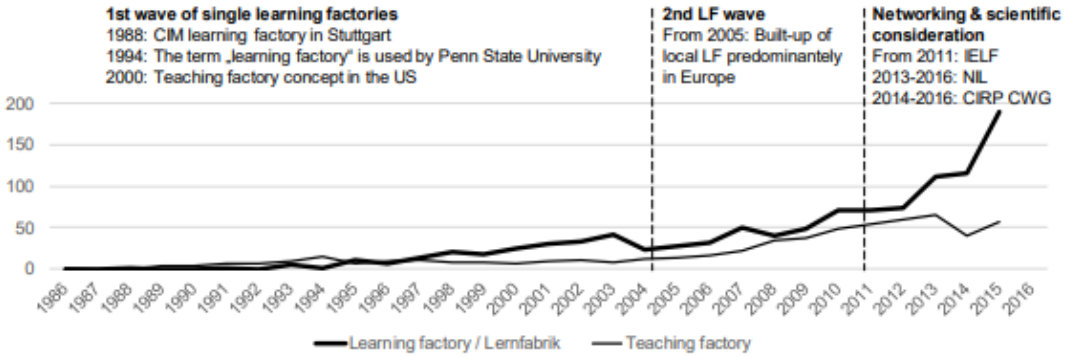


Figura 2.1. Processo evolutivo das Fábricas de Aprendizagem

2.2. Definição de Fábricas de Aprendizagem

Devido a várias tentativas de definições presentes na literatura para descrever o que é uma Fábrica de Aprendizagem torna-se importante evidenciar que a expressão Fábrica de Aprendizagem é composta por uma palavra "Fábrica" e outra "Aprendizagem" que se delimitam aplicação em contextos que relatam ambos os termos (Wagner et al., 2012).

Não obstante, no ano de 1992 foi feita a equiparação das Fábricas de Aprendizagem a um *learning laboratory* em que são integrados conhecimento internos e externos, resolução de problemas, experimentação e inovação na rotina de trabalho (Leonard-Barton, 1992; Bardon e Delbridge, 2001 e Roth et al., 1993). Daqui resulta que na definição da fábrica de aprendizagem na perspetiva desses autores, a aprendizagem ocorre num local de trabalho onde se torna essencial o trabalho em equipe e o envolvimento de todos no treino para que se possam atingir resultados eficientes na transferência de conhecimentos.

Com base nos casos de fábricas estabelecidas no princípio, o conceito de Fábrica de Aprendizagem é descrito como sendo uma instalação baseada em atividades que foram projetadas para ser realizadas em todo o curriculum (Jorgensen et al., 1995). Desta forma

conseguindo alcançar um grau de autonomia dos participantes na realização dos processos e produtos definindo assim o uso do ambiente de fábrica (Cachay et al., 2012).

Contrariamente a esses conceitos a *Initiative on European Learning Factories* define a Fábrica de Aprendizagem como um ambiente de aprendizagem onde processos e tecnologias são baseados em um verdadeiro local industrial que permite uma abordagem direta ao processo de criação de produtos. Além disso as Fábricas de Aprendizagem baseiam-se num conceito didático que enfatiza aprendizagem experimental e baseada na resolução de problemas (*Initiative on European Learning Factories,* 2013).

Tendo apresentado e analisado as várias perspetivas de vários autores no que concerne ao conceito do termo Fábrica de Aprendizagem, este estudo sustenta-se na abordagem de Abele (2016) na qual se estabelece uma unificação de todos os conceitos propostos, divididos em:

Fábrica de Aprendizagem no sentido restrito, caraterizada por um ambiente de aprendizagem especificado por processos autênticos e várias estações configuradas com aspetos técnicos e organizacionais podendo ser mutáveis dependendo do propósito das fábricas (educação, treino ou desenvolvimento de inovação). Um produto físico pode ser fabricado ou montado permitindo a visualização do fluxo de valor e, por conseguinte, o domínio didático da aprendizagem pode ser formal, informal e não formal.

Fábrica de Aprendizagem no sentido amplo, consiste em ambientes de aprendizagem semelhante acima descrito, mas, com um fluxo de valor representado num cenário virtual, digital ou híbrido no qual o produto desenvolvido é um serviço com um conceito didático de aprendizagem num ambiente remoto em vez de aprendizagem no local (Abele, 2016).

A demanda atual dos mercados mostra o quão potenciais são os ambientes de aprendizagem baseados em cenários virtuais ou digitais devido à tendência de maior digitalização na área de produção (Celar et al., 2016). Além disso as Fábricas de Aprendizagem virtual fornecem uma representação visual baseadas em ferramentas capazes de simular operações de planeamento de processos produtivos virtuais, layouts e otimização de componentes de modo a proporcionar um ambiente de aprendizagem acessível e de qualidade (Hummel et al., 2015; Manesh e Schaefer, 2010). Por essa razão, essas fábricas tornam-se alternativas vantajosas se o intuito das instituições de ensino superior for oferecer

aprendizagem na área de conhecimento de processo de produção (Pan et al., Xu e Wang, 2006).

Em contrapartida as Fábricas de Aprendizagem digitais recorrem ao uso das tecnologias de informação para realização do mapeamento de processos, recursos e produtos do ambiente de aprendizagem. Além disso, Fábricas de Aprendizagem virtuais e digitais podem ser usadas em contextos semelhantes às Fábricas de Aprendizagem convencionais (Abele et al., 2017).

A abordagem de Fábrica de Aprendizagem híbrida tem sido desenvolvida a partir da integração do ambiente de aprendizagem virtual e digital em um ambiente físico com vista a exploração dos potenciais de cada um deles na transferência de competências, embora essa abordagem acarrete recursos adicionais para a configuração e operação, esforços para combinar a Fábrica de Aprendizagem física, virtual e digital ela apresenta melhor acessibilidade à vários processos da fábrica e existe um mapeamento maior de estruturas de fábrica em um ambiente virtual (Abele et al., 2017).

2.3. Características das Fábricas de Aprendizagem

A morfologia é o critério estabelecido por Abele et al. (2017) para caraterizar as Fábricas de Aprendizagem existentes e por outro lado servir como um guia de orientação para a construção de novas. Note-se que a morfologia pretende abranger a maioria dos critérios capazes de categorizar as Fábricas de Aprendizagem em termos de processo operacional, objetivos e publico alvo, processo, configuração, produto, didática e métricas.

Vale ressaltar que a caracterização morfológica das Fábricas de Aprendizagem é relevante na medida em que constitui um ponto de partida para a diversificação das fábricas buscando cada vez mais alcançar o maior número de áreas de conhecimento. Perante o descrito é essencial que sejam apresentadas e discutidas as sete dimensões morfológicas para a caracterização das fábricas, visto que as abordagens apresentadas na secção 2.3 se mostram bastante simplistas a alcançar o objetivo pretendido (Abele et al., 2015; Sudhoff et al., 2020).

Relatos de Tisch (2018) e Tisch et al. (2015) afirmam que a **dimensão morfológica operacional** visa a partir da definição da cultura da empresa ou instituição de ensino servir como suporte ao funcionamento da fábrica em termos organizacionais e tecnológicos, ou seja, o **modelo operacional** é definido pela orientação da empresa podendo ser uma instituição de ensino académico ou uma instituição de negócios. Neste sentido

reflexões de Plorin (2016) tem mostrado que o setor académico representa o setor que mais utiliza a abordagem de Fábricas de Aprendizagem.

Por outra perspetiva Tisch e Metternich (2017) sustentam as suas ideias no fato de que na fase operacional as Fábricas de Aprendizagem devem ser sustentáveis economicamente de modo a criar receitas para financiar os custos derivados da operação da mesma. Como por exemplo, os salários dos intervenientes ou materiais de consumo.

Na visão dos autores o modelo operacional deve integrar sempre novos conteúdos/temáticas criando dinâmica no processo. Desde modo é indispensável a presença de um profissional abalizado no assunto, podendo ser um assistente de pesquisa ou mesmo um engenheiro, dependendo do tipo da organização. A descrição morfológica completa da dimensão operacional é apresentada no **Anexo A**.

O **propósito** de uma Fábrica de Aprendizagem pode ser identificado a partir de duas categorias nomeadamente primária e a outra secundária. Os propósitos primários dizem respeito aos objetivos principais definidos, como por exemplo a educação, treino e a investigação. Estes são considerados como sendo os principais propósitos na criação de uma Fábrica de Aprendizagem. Por outro lado, existe o propósito secundário representado por atividades complementares de demonstração ou testes de tecnologia e marketing (Enke et al., 2017).

Para Tisch (2018) esta dimensão consiste na orientação estratégica das Fábricas de Aprendizagem em relação ao conteúdo de aprendizagem e na identificação dos **grupos alvo**. No capítulo, o propósito e grupo alvo das Fábricas de Aprendizagem são mencionados mais detalhadamente. A descrição morfológica completa da dimensão de propósito e grupo alvo é apresentada no **Anexo B**.

Do ponto de vista de Bauernhansl et al., (2014) o reconhecimento da capacidade de produção de uma Fábrica de Aprendizagem é essencial na dimensão de **processo**. Por isso pode ser conveniente identificar o ciclo de vida da fábrica, do produto, do pedido e da tecnologia.

Contrariamente ao citado acima, na fase de implementação de uma Fábrica de Aprendizagem em que não se conheça a atividade em que a fábrica se dedicará em termos de ciclos de vida, é possível que todos os ciclos de vida sejam abordados ou simulados de uma só vez em Fábrica de Aprendizagem (Tisch, 2018). A descrição morfológica completa da dimensão de processo é apresentada no **Anexo C**.

Segundo Didactic (2016) e Kaluza et al. (2015), a descrição e a caraterística de um ambiente de Fábrica de Aprendizagem são designadas por **configuração**, cuja distinção é feita através da consideração de um ambiente de aprendizagem restrito e amplo, estes conceitos já foram abordados anteriormente. Wiendahl et al. (2007), aborda a **configuração** de uma Fábrica de Aprendizagem considerando que elas incluem mais do que apenas um único local de trabalho ou uma única máquina, mas sim podendo variar de células de fabricação única ou montagem, em fábricas inteiras e com redes fabris.

Em Nyhuis, Reinhart e Abele (2008), é feita a menção de dois critérios que se deve considerar na **configuração** de uma Fábrica de Aprendizagem, nomeadamente, a flexibilidade e a mutabilidade cuja facilidade para uma mudança programada é permitida no processo de treino.

Por essa razão Tisch 2018, enfatiza que a concretização destes critérios só será possível quando princípios como mobilidade, modularidade, compatibilidade, escalabilidade e universalidade sustentarem as Fábricas de Aprendizagem. A descrição morfológica completa da dimensão de configuração é apresentada no **Anexo D**.

Para Metternich, Abele e Tisch (2013), o **produto** desenvolvido na Fábrica de Aprendizagem é selecionado especificamente dos produtos disponíveis no mercado. Em contrapartida de modo geral existe duas formas de se desenvolver um **produto** para uma Fábrica de Aprendizagem, a primeira é através dos produtos disponíveis no mercado e a segunda é pela criação de um novo produto para complementar nos processos já existentes, nomeadamente, processo de produção, infraestrutura, metas de aprendizado entre outros (Wagner et al., 2014; Metternich, Abele e Tisch 2013).

Tisch et al. (2015) e Tisch (2018) quando abordam sobre um **produto** referem-se a uma abordagem de funcionalidade cuja sua aplicação é destinada a estabelecer distinção entre os produtos completamente funcionais sobre os produtos didaticamente adaptados e com aplicação baixa, os autores enfatizam que o uso de produtos desmontáveis pode ser uma vantagem para as Fábricas de Aprendizagem pela questão do custo e a reutilização de alguns componentes. A descrição morfológica completa da dimensão de produto é apresentada no **Anexo E**.

O processo **didático** representa um elemento complementar e essencial a todas Fábricas de Aprendizagem cujo objetivo é a transferência de conhecimentos e consequentemente formação. Nos estudos citados por Abele et al. (2013) sobre a

metodologia de ensino os autores apresentam duas analogias entre a aprendizagem formal e informal onde questionam como estes dois processos se relacionam e terminam afirmando que este tipo de processo deve ser fornecido e apoiado no conceito de Fábrica de Aprendizagem. Não obstante o supramencionado Abele et al. (2015) propõe as seguintes perguntas:

a) O que deve ser aprendido em termos de competências e diferentes objetivos de aprendizagem?

b) Como deve ser aprendido quanto ao cenário de aprendizagem, o grau de autonomia dos alunos, o formato dos módulos de aprendizagem e qualquer padronização, a incorporação dos elementos sistematizadores de aprendizagem no módulo, bem como o papel do formador?

c) Onde deve ser aprendido em relação ao tipo de ambiente de aprendizagem ou canal de comunicação?

d) Como devemos avaliar e o tipo de instrumento de avaliação? (Tisch, 2018).

A descrição morfológica completa da dimensão didática é apresentada no **Anexo F**.

Numa dimensão de **métricas** pretende-se quantificar indicadores dos quais depende a aplicação das outras dimensões na Fábrica de Aprendizagem. Neste ponto a literatura mostrou-se limitante em apresentar uma visão global e realista dos parâmetros exatos a medir, limitando-se apenas na quantificação do número de participantes por módulo de aprendizagem, a determinação da duração média dos módulos de aprendizagem e a área disponível (Tisch et al., 2015). A descrição morfológica completa da dimensão métricas é apresentada no **Anexo G**.

2.4. Benefícios e limitações das Fábricas de Aprendizagem

Face a apresentação e discussão de vários conceitos referentes à abordagem de Fábrica de Aprendizagem na perspetiva de diferentes autores da literatura, é indispensável determinar os aspetos relacionados aos benefícios e as limitações que este conceito engloba.

2.4.1. Benefícios das Fábricas de Aprendizagem

Na perspetiva de Gento et al. (2020) os benefícios das Fábricas de Aprendizagem concentram-se basicamente na motivação dos alunos e na minimização da lacuna existente entre os conhecimentos teóricos e práticos resultantes do ensino tradicional.

Sob outra perspetiva, a determinação dos benefícios das Fábricas de Aprendizagem deve ser orientada ao seu contexto de aplicação, ou seja, para Fábricas de Aprendizagem orientadas para a educação e treino destacam-se os benefícios relacionados ao desenvolvimento efetivo de competências através de diferentes cenários de aprendizagem nomeadamente, aprendizagem baseada na resolução de problemas, aprendizagem experimental, aprendizagem orientada à investigação e aprendizagem orientada à ação. E quanto as Fábricas de Aprendizagem orientadas para à investigação relata-se que estas podem ser utilizadas para identificação de problemas de investigação e testes de soluções acarretando menores custos (Tisch e Metternich, 2017).

Estudos de Menn et al. (2018) relatam que os benefícios das Fábricas de Aprendizagem focam-se na criação de ambientes de aprendizagem semelhantes à ambientes de trabalho em que oferecem oportunidades ao aluno de adquirir conhecimentos e testa-los em cenários reais e diferentes.

Para Sieckmann et al. (2020) os benefícios das Fábricas de Aprendizagem se resumem no desenvolvimento de competências em contextos aplicáveis e orientados a situações de aprendizagem diferentes integrando a resolução de problemas de forma estruturada.

2.4.2. Limitações das Fábricas de Aprendizagem

Gento et al. (2020); Tisch e Metternich (2017) enfatizam que apesar dos benefícios supracitados, a utilização das Fábricas de Aprendizagem também apresenta algumas limitações em termos de:

- Necessidade de Recursos;
- Incapacidade de mapeamento na Fábrica de Aprendizagem;
- Escalabilidade da Fábrica de Aprendizagem;
- Mobilidade limitada;
- Eficiência limitada.

A **necessidade de recursos** faz parte de todo o ciclo de vida de uma Fábrica de Aprendizagem desde a fase de concepção até a fase de remodelação pois exige muitos recursos financeiros, humanos, equipamentos assim como de instalações. Portanto, a falta desses recursos pode levar a paralisação do projeto de Fábrica de Aprendizagem. Como se pode ver na figura 2.2 são mostrados os recursos necessários em cada fase do ciclo de vida da Fábrica de Aprendizagem.

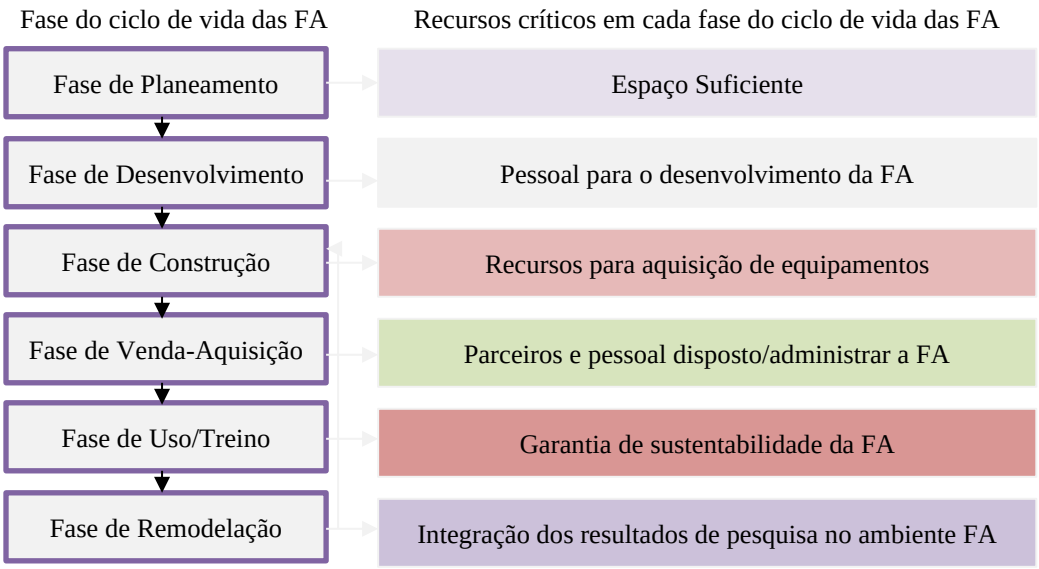


Figura 2.2. Recursos Necessários no Ciclo de Vida da FA

A **incapacidade de mapeamento** engloba todos desafios e assuntos que ocorrem num ambiente geral de indústria e que as Fábricas de Aprendizagem não são capazes de oferecer. Por isso, para tirar maior proveito desta abordagem e recomendável que se dê enfase à tópicos específicos e qua seja possível obter o *feedback* num curto ciclo de

tempo. Especificamente, os tópicos de ferramentas *Lean* como é o caso de SMED, 5S e *Poka-Yoke* e balanceamento de linha enquadram-se nestas caraterísticas. No entanto, o sucesso da concretização depende muito do quão mutável e flexível é o ambiente da Fábrica de Aprendizagem.

A **limitação de escalabilidade na abordagem** das Fábricas de Aprendizagem diz respeito a capacidade da FA em acolher um determinado número de alunos e eventualmente a necessidade de formadores. Em outras palavras, a escalabilidade de uma Fábrica de Aprendizagem pode ser comparada com outras abordagens de educação em que um ambiente de ensino-aprendizagem com um formador pode se estender para centenas de alunos sem problemas. Enquanto que na abordagem de FA pode ser necessário um ou dois formadores limitados a um grupo de 10-15 alunos.

Em termos gerais a **mobilidade limitada** das Fábricas de Aprendizagem são construídas em locais específicos e disponíveis tornando-as imoveis. No entanto, estudos apresentados nas seções anteriores evidenciam a possibilidade desta abordagem assumir ambientes virtuais. A **eficácia limitada** abrange a falta de avaliação orientada aos objetivos das fábricas.

2.5. Fábricas de Aprendizagem no contexto de *Industrie 4.0*

O contexto industrial está a ser impulsionado pelo surgimento do novo paradigma denominado *Industrie 4.0.* Este paradigma é acompanhado pela necessidade de introdução de tecnologias capazes de dinamizar as novas demandas do mercado, caracterizadas por produção flexível, procura por produtos e serviços de qualidade e com curto ciclo de vida. Neste sentido, o paradigma da *Industrie 4.0* consiste no processo de transformação de sistemas de manufatura convencionais para sistemas de manufatura que digitalizados e autónomos (Erol et al., 2016).

Afim de compreender o contributo da utilização das Fábricas de Aprendizagem para transferência de competências da área de conhecimento de *Industrie 4.0*, são apresentados a seguir as definições relevantes da Industrie 4.0 à luz de alguns autores.

Uma definição simplista é apresentada por Oesterreich e Teuteberg, (2016) na qual afirma que *Industrie 4.0* abrange todos os estágios para o processo de digitalização e automação de processos industriais, tornando-os cada vez mais eficientes. Além disso, os autores enfatizam que a utilização de termos como, *Smart Manufaturing*, *Smart Production*, *Industrial Internet* tem sido comum para definir o contexto de aplicação em que o conceito de *Industrie 4.0* se encontra inserido visto que se trata de abordagens utilizadas para caraterizar um ambiente de manufatura em que integra a digitalização e automação entre pessoas, objetos e máquinas.

Por outo lado, Pivoto et al. (2021) define *Industrie 4.0* como sendo uma evolução tecnologia que se baseia num elemento chave designado por Internet dando enfâse à utilização de *Internet of Things* e *Services* e *Cyber-Physical Systems* para estabelecer uma conexão de informações entre objetos, pessoas e recursos. A integração de informações nos objetos, pessoas e recursos é conseguida através de uma complexa rede de dispositivos industriais que também podem ser considerados como tecnologias, compostas por sensores, robôs industriais complexos e atuadores.

A *Industrie 4.0* consiste na adoção de tecnologias compostas por *Internet of Things*, *Serviços nuvem*, *Big Data e analytics* fomentando um *Cyber-Physical Systems* para posterior integração nos processos de manufatura. Quando integradas nos processos de manufatura assumem um ambiente designado por *Smart Manufaturing* ou *Smart Production* onde são fabricados *Smart Product* (Frank et al., 2019).

Como se pode ver existe uma convergência de ideias quanto o conceito de *Industrie 4.0* especificamente no que diz respeito ao processo de integração digital e de automação nos sistemas industriais envolvendo uma estrutura complexa de tecnologias.

Posto isto, é percetível que a introdução deste paradigma requer profissionais capazes de se enquadrarem nele em termos de desenvolvimento de competências na gestão de elevados dados de informação que este paradigma agrega aos sistemas industriais. Porém a determinação de competências requeridas na área de *Industrie 4.0* ainda tem de ser repensadas (Baena et al., 2017).

Portanto, Enke et al. (2018) enfatizam que a adequação das Fábricas de Aprendizagem neste cenário é crucial visto que constituem um fator chave na formulação de competências pretendidas.

Tendo em conta que o âmbito geral da *Industrie 4.0* é a criação do conceito de *Smart Manufaturing,* as instituições de ensino fundamentam a abordagem de Fábricas de Aprendizagem focada especificamente na capacitação de futuros engenheiros em *Cyber-Physical Systems* (Gräßler et al., 2016 e Mladineo et al., 2019).

O conceito de *Cyber-Physical Systems* é muito amplo e engloba diversos tipos de sistemas paralelamente a isto é proposto a derivação deste termo em *Cyber-Physical Production Systems* onde tópicos especificamente direcionados aos processos de produção são abordados e priorizados. Mas, no entanto, esta proposta suscita muitos estudos afim de validar a sua utilização. Mesmo assim, a delegação das atividades aos robôs nos sistemas de manufatura através dos *Cyber-Physical Production Systems* é uma previsão para o futuro por isso as Fábricas de Aprendizagem podem garantir que os profissionais desta área tenham habilidades para cooperarem com máquinas em segurança (Cardin, 2019).

Ainda assim, Prinz et al. (2016) reiteram que as Fábricas de Aprendizagem devem focarem especialmente na transferência de competências ligadas aos *Cyber-Physical Production Systems* pelo fato destes originarem grandes quantidades de informações e dados na sua rede, para isso alguns resultados de aprendizagem que se podem esperar dos futuros engenheiros no contexto de *Industrie 4.0* concretamente nos *Cyber-Physical Production Systems* são: a capacidade de interpretar grandes quantidades de dados e informação; a capacidade de familiarizar-se com os novos métodos de produção, formas de organização e tecnologia de trabalho; a capacidade de sentir-se confortável com o fator cooperação Homem-máquina.

2.6. Fábricas de Aprendizagem no contexto de *Lean Manufacturing*

De acordo com Gento et al., (2020) e Tiwari et al., (2020), o termo *Lean Manufacturing* emergiu na *Toyota Motor Company* no Japão há algumas décadas atrás com o objetivo de minimizar os desperdícios desde o nível de chão de fábrica até ao nível de gerência promovendo uma melhoria no desempenho da organização e melhoria na competitividade entre indústrias.

Estudo citado por Balamurugan et al. (2020), relata que *Lean manufacturing* consiste basicamente em processos de manufatura sem desperdícios e expõe os sete desperdício: (1) superprodução; (2) espera; (3) movimento; (4) transporte; (5) processamento; (6) *stock* e (7) defeito de produto. Portanto pode se notar que o termo desperdício se refere a tudo aquilo que excede a quantidade mínima requerida de equipamentos, materiais, peças e tempo de trabalho inerentes ao processo de produção.

A perspetiva apresentada por Bauer et al. (2018) faz menção aos cinco princípios *Lean*: (1) valor, (2) fluxo de valor, (3) fluxo continuo, (4) *pull*, e (5) perfeição. Estes princípios definem a filosofia da empresa baseados na melhoria continua e respeito por pessoas.

Neste sentido (Gento et al., 2020) apresenta algumas ferramentas de padronização para a integração do concito *Lean* nos processos industriais, como é o caso de trabalho padronizado, gestão visual, mapeamento do fluxo de valor, melhoria contínua, SMED, sistema *kanban* e análise de causa efeito.

No âmbito da integração das ferramentas *Lean* no curriculum de engenharia as Fábricas de Aprendizagem são frequentemente utilizadas pois permitem que os alunos experimentem o efeito prático desta integração num ambiente realista (Adam et al., 2019).

Micheu e Kleindienst (2014) enfatizam que o grande número de Fábricas de Aprendizagem é orientado aos processos de *Lean Manufacturing,* focadas na sua maioria na capacitação dos alunos em conceitos de balanceamento de linhas, análise e design de fluxo de valor, otimização *just-in-time* e padronização de trabalho.

Estudos citados por Veza et al. (2015) demostram um caso prático de implementação de uma Fábrica de Aprendizagem para ensino de ferramentas *Lean.* Esta FA foca-se na transferência de competências das seguintes ferramentas *Lean: Just-in-Time, heijunka, push-pull production, one piece flow,* SMED, *takt time,* supermercado, *kanban e kaizen value stream mapping.* Nota-se que se trata de um ambiente de fábrica próximo à

realidade que demostra o fluxo de valor de uma linha de montagem em que os alunos aplicam as ferramentas *Lean* citadas anteriormente num ambiente de aprendizagem baseado na resolução de problemas.

2.7. Códigos de Barras

Os códigos de barras fazem parte da era em que os processos de produção emergem para a automatização. Por isso, hoje em dia os códigos de barras têm sido cada vez mais utilizados para os sistemas de gestão de *stocks* e no facturamento de produtos graças ao seu funcionamento de identificação automática. Um estudo aprofundado sobre este termo é fundamental para compreender o seu enquadramento neste estudo. Para isso são apresentados nesta secção ás contribuições de vários autores em relação ao código de barra.

Antes de apresentar os resultados provenientes da investigação deste assunto vale ressaltar que até ao momento que foi feita esta pesquisa, existe pouca informação na literatura em relação a aplicação dos códigos de barras para os objetivos pretendidos neste estudo. Dito isto, procede-se para a apresentação dos conceitos referentes a tecnologia de código de barras.

Estudos citados por Tu et al. (2020) relatam que os códigos de barras fazem parte de um sistema de identificação automática representada por uma imagem disposta em forma de linhas paralelas, com o objetivo de fornecer visibilidade as informações do objeto e por essa razão sendo frequentemente utilizados na indústria de logística e no comércio.

Mushfika et al. (2019) apresentam uma contradição quando afirmam que os códigos de barras são ferramentas de gestão semiautomática porque requerem a iteração humana para efetuar a leitura do código de barras com um leitor de código de barras. Os autores ressaltam a importância dos leitores de códigos de barras em termos de localização de código de barras e descodificação de código de barras, uma vez que estes fatores interferem na velocidade e na precisão da leitura.

Por outro lado Monteiro e Costa (2015) relatam que os códigos de barras consistem num método de identificação e recolha de dados comummente utilizado na indústria para o controlo do inventário. Engloba na sua utilização um identificador designado por leitor de códigos de barras que deve ser posicionado à alguns centímetros para a leitura do código de barras. Os autores Briscoe e Watkins (2020) dão enfâse a vantagem que o uso

de leitor de código de barras tem em eliminar erros que podem ocorrer durante o processo manual de digitalização do código.

Não obstante o supracitado, Orghian (2019) relata que o funcionamento do leitor acorre através do reflexo emitido pela luz ótica na etiqueta de modo a enviar as informações para uma base de dados e ulterior conversão para que possam ser reconhecidas.

Portanto, em termos de contexto de utilização os códigos de barras podem ser aplicados a produtos, unidades logísticas, localizações, ativos fixos e retornáveis, documentos, cargas e serviços tornando os processos mais eficientes com maior controlo e confiabilidade paras as empresas. É importante realçar que para cada contexto de aplicação existe uma variedade de códigos de barras dependendo das suas caraterísticas e capacidades. Assim sendo, são descritos os seguintes códigos de barras: EAN, GS1-128, ITF-14, DataBar, DataMatrix e QR Code (Filipe e Americana, 2019; Gouveia, 2014).

O código de barras EAN corresponde ao tipo de código comummente utilizado para identificação de embalagens de produtos comerciais. Nestes códigos são transportados dados que permitem aos participantes da cadeia de abastecimento identificarem, localizarem e rastrearem os produtos devido a agilidade que eles possuem no *scanner* de informações.

O código de barras GS1-128 é destinado para o sector logístico pelo que apresenta maior capacidade de rastreabilidade. São compostos por grandes quantidades de informações tais como data de validade, data de fabrico, quantidade, número de lote, peso e medidas. Note-se que estes dados são de extrema importância para o setor são organizados de acordo com a empresa.

O código de barras ITF-14 é utilizado em diferentes grupos de caixas para embalagem de um mesmo produto. É, portanto, constituído por 14 dígitos conferindo assim maior grau de rastreabilidade do produto.

O código de barras DataBar apresenta uma dimensão menor que os códigos supramencionados o que confere vantagens para a sua utilização em itens de dimensões difíceis de codificar. Além disso, a sua utilização apresenta vantagens tais como capacidade de rastreabilidade e de controle da validade dos itens.

O código de barras DataMatrix permite codificar uma grande quantidade de informações num espaço pequeno devido a sua estrutura bidimensional. Pode ser utilizado para itens que o código DataBar não é permitido, no sector automóvel, no setor elétrico e no setor de saúde.

E por último o código QR é também considerado código 2D, no entanto com grande capacidade de armazenamento comparativamente ao código DataMatrix. É geralmente utilizado na logística, transporte, fabricação e inventario. Por ser considerada uma tecnologia avançada de codificação, a leitura do código pode ser efetuada a partir de câmeras, *softwares* e *smartphones*. A representação destes tipos de código de barras se encontra na figura 2.3.

Figura 2.3. Tipos de código de barras

2.7.1. Vantagens do código de barras

De acordo com Rei (2010) a introdução desta tecnologia teve um impacto enorme nas mais diversas áreas de atividade e portanto o seu enorme sucesso é justificada pela:

- Existência de *standards* aceites a nível mundial;
- Tecnologia perfeitamente estabilizada;
- Simplicidade da infraestrutura necessária: leitor, impressora, computador e respetivo software;
- Baixo custo de implementação e manutenção;
- A sua implementação não tem qualquer impacto negativo no normal funcionamento da empresa;
- Não exige qualquer formação adicional dos operadores;
- Evita erros de digitação;
- Ganhos de produtividade imediatos e facilmente mensuráveis;

- Fiabilidade do sistema;
- Alternativa simples em caso de avaria em muitas situações;
- Tecnologia de criação de etiquetas de código de barras simples e barata.

2.7.2. Vulnerabilidade e Limitações do código de barras

Na perspetiva do mesmo autor esta tecnologia apesar das suas enormes vantagens, tem algumas vulnerabilidades/limitações que condicionam a sua utilização tais como:

- Facilmente falsificável, pois não possui qualquer mecanismo de segurança;
- A generalidade das etiquetas de código de barras são impressas sobre papel ou cartão que são materiais de suporte frágil, o que faz com que as etiquetas se tornem inúteis por deterioração do material em que são impressas;
- Sensível à cor do fundo sobre que é impressa;
- Sensível ao material é impressa;
- Quantidade de informação que transportam é muito limitada na simbologia 1D;
- A luminosidade ambiente pode afetar a capacidade de leitura;
- O tempo de acionamento entre leituras consecutivas pode introduzir atrasos numa linha de transporte;
- A afinação das impressoras é normalmente um fator crítico numa linha de produção dada a elevada carga de trabalho a que estão sujeitas e ao ambiente em que operam;
- A leitura é normalmente efetuada manualmente estando, portanto dependente do operador.

2.8. Aplicação dos códigos de barras na Indústria de Manufatura

A utilização dos códigos de barras no setor da indústria de manufatura facilita a gestão e comunicação entre vários departamentos. Por exemplo, os códigos de barras podem ser utilizados para codificar materiais em termos de informação sobre fabricantes, datas de produção e datas do pedido.

Por outro lado, o código de barras pode ser utilizado na gestão de armazém. Neste contexto o código de barras possui informações sobre o tempo de produção, tempo de armazenamento, quantidade de materiais, os registros de materiais dentro e fora do armazém bem como as caraterísticas dos materiais. É importante enfatizar que o armazenamento desses materiais deve ser feita de acordo com as suas caraterísticas.

No processo de produção, também é necessário obter as informações de acordo com o código de barras dos pedidos dos clientes, de forma a realizar a operação de acordo com a situação do *stock* e as instruções de utilização do material. Após a conclusão da operação, é necessário confirmar e garantir o acompanhamento do pedido (Liu et al., 2020).

3. IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FÁBRICA DE APRENDIZAGEM

O elevado número de Fábricas de Aprendizagem concebidas desperta um grande interesse em muitas instituições de ensino em implementar esta abordagem no seu Programa de Ensino, com base nas pesquisas de revisão de literatura verifica-se que diversas fábricas são orientadas há diferentes domínios de atuação, ora para produção, sustentabilidade, entre integração de algumas ferramentas digitais.

Por esse motivo, neste capítulo convertem-se os aspetos gerais da revisão da literatura em conteúdos práticos e mensuráveis, ou seja, pretende-se a partir de uma instalação laboratorial propor a implementação de uma Fábrica de Aprendizagem.

A proposta de implementação de uma Fábrica de Aprendizagem baseia-se na análise do LabEGI na qual será feita uma classificação em relação aos critérios de caracterização das Fábrica de Aprendizagem apresentadas na revisão da literatura. Na caracterização do LabEGI que se segue é feito uma avaliação de inventário da sua infraestrutura no que diz respeito aos equipamento e materiais. Baseados nos resultados obtidos procede-se para a identificação dos pontos fortes e fracos de cada equipamento ou material.

Sendo o foco do estudo a criação de um ambiente industrial para os alunos, é então apresentada a abordagem de desenvolvimento de produto a utilizar no LabEGI de modo a agregar valor ao ensino. No entanto, esta proposta baseia-se nos critérios analisados na revisão da literatura. A seguir são utilizadas algumas ferramentas *Lean* para a otimização de processos, gerenciamento de tempos e consequente redução de desperdício.

Na fase de desenvolvimento do produto vale realçar que é elaborado uma análise na estrutura do produto afim de diagnosticar componentes que apresentam fragilidade no seu funcionamento. A identificação destes componentes suscita a necessidade da sua fabricação na impressora 3D do Laboratório.

Finalmente, fases referentes a elaboração da lista de materiais, construção da árvore do produto, diagrama de precedências, estudo de tempos de processamento e do *cicle time* assim como a proposta do *layout* e balanceamento de linha da FabEGI são implementadas neste capítulo.

3.1. Descrição do LabEGI

Os procedimentos a desenvolver referentes a uma Fábrica de Aprendizagem são então, aplicado ao LabEGI. O LabEGI é assim designado para facilitar o processo de escrita e comodidade, mas, entretanto, representa um laboratório de treinamento de alunos em diferentes unidades curriculares. Consiste de uma infraestrutura pertencente a Universidade de Coimbra, mas concretamente Faculdade de Ciências e Tecnologia no Departamento de Mecânica com a área equivalente à 54m^2.

Neste momento o laboratório encontra-se inativo devido a razões que serão apresentadas nas próximas secções. Vale ressaltar que a sua infraestrutura interna é constituída por uma linha de montagem que possui três postos de trabalho cada um associado a um supermercado, um armazém de material, um carro de transporte de peças acabadas, uma impressora 3D, leitores de código de barras, RFID, monitor, produto fabricado designado Talocha. O armazém possui caixas pequenas e grandes para a colocação de material, existem também ferramentas manuais como por exemplo chaves sextavadas, chaves de fenda e aparafusadora elétrica.

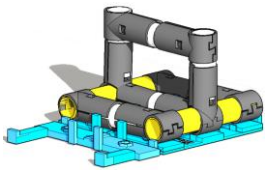
3.1.1. Análise dos equipamentos do LabEGI

Pretende-se analisar os equipamentos ou materiais do LabEGI afim de conhecer o seu potencial e funcionamento. Como resultado, observaram-se alguns pontos positivos e negativos que correspondem a sua utilização. Cumpre salientar, que são apresentados os pontos fortes e fracos dos equipamentos julgados relevantes do LabEGI com o intuito de identificar o potencial de cada um deles. As tabelas 3.1 a 3.3 ilustram os pontos analisados de cada um dos equipamentos.

- **Produto atual do LabEGI**

O produto deve se adequar e apoiar as capacidades do ambiente de aprendizagem para permitir a melhor realização possível do conteúdo educacional e de pesquisa bem como permitir um grande número de variantes do produto.

Tabela 3.1. Análise do produto atual

Produto	Pontos Positivos	Pontos Negativos
	Gabarito de montagem	Pontos de retrabalho
	Montagem intuitiva	Exigência de maior destreza do operador
	Produto resistente	Produto não funcional

- **Postos de trabalho**

O LabEGI possui três postos de trabalho, cada um composto por um supermercado e suportes para apoiar as caixas esvaziadas permitindo efetuar um conjunto de montagens de um único produto num fluxo contínuo de operações. Cada suporte do posto pode apoiar 12 caixas de dimensões pequenas. É de notar que existe em cada posto de trabalho suporte para chaves sextavada e fenda. O fator ergonómico deve-se ao tempo que o operador permanecerá parado e a realizar ações repetidas o que contribuirá para a sua desmotivação e fadiga.

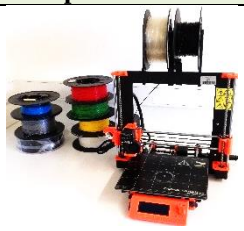
Tabela 3.2. Análise de postos de trabalho

Posto de Trabalho	Pontos Positivos	Pontos Negativos
	Existência de supermercado integrado ao posto	Ergonomia

- **Tecnologias do LabEGI**

Como se pode notar as tecnologias disponíveis do LabEGI não dispõem de utilização o que torna o laboratório menos adequados para aprendizagem prática de digitalização. De acordo com Zelbst et al. (2010) a utilização de tecnologias como essas pode enriquecer as atividades da FabEGI em termos de produtividade, melhoria do *cicle time*, fluxo de produção e reduzir desperdícios na linha de produção. Portanto, a nova proposta de industrialização do LabEGI pretende se atentar a estes pontos identificados, visto que Fábricas de Aprendizagem digitais oferecem uma experiência interessante de aprendizagem.

Tabela 3.3. Análise das tecnologias do LabEGI

Impressora 3D	**Pontos Positivos**	**Pontos Negativos**
	Impressão do gabarito Incentivo a critividade	Limitação referente ao tempo de impressão
Monitor	**Pontos Positivos**	**Pontos Negativos**
	Possibilidade de exibição do fluxo de produção	Falta de uso
RFID	**Pontos Positivos**	**Pontos Negativos**
	Possibilidade de aplicação para controlo de stocks	Falta de uso
Leitor de Código de Barras	**Pontos Positivos**	**Pontos Negativos**
	Possiblibidade de aplicação como medidor de tempos de montagem	Falta de uso

3.1.1.1. Contexto de ensino-aprendizagem do LabEGI

Conforme foi dito nas seções anteriores o LabEGI encontra-se atualmente inativo para aquele que é o seu objetivo, limitando-se à atividade de pesquisa e desenvolvimento de conteúdo científico pelos professores e alunos.

Não obstante, pretende-se que as atividades de ensino-aprendizagem sejam desenvolvidas durante as aulas das disciplinas de PCP, Melhoria Continua e de Produção para especialmente alunos de curso de Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial. Neste sentido o principal intuito deste LabEGI é fornecer uma formação avançada suportada por aulas de aprendizagem orientadas a ação, através de simulação de sistemas de produção, otimização de sistemas produtivos e planeamento e controlo de produção.

Os princípios de *Lean* são integrados na Fábrica de Aprendizagem e alguns conceitos da *Industrie 4.0* conferindo assim ao LabEGI um ambiente autêntico próximo da realidade industrial. Desta forma são agrupados os tipos de equipamentos/materiais existentes no LabEGI de acordo com o seu processo de utilização na tabela 3.4.

Tabela 3.4. Processo de utilização dos equipamentos do LabEGI

Métricas *Lean*	***Industrie* 4.0**	
Linha de montagem	CAD	RFID
Takt time, Cicle time	Impressora 3D	Leitores de código de barras
Serious games		Monitor LCD

3.1.1.1.1. Caracterização do LabEGI

a) Quanto ao ambiente de aprendizagem

Esta secção oferece uma base de fundamento para a classificação do LabEGI, nestes termos assume-se que o LabEGI corresponde a um ambiente de aprendizagem do sentido restrito. Assim Hammer (2014) enfatiza que a produção de um produto físico faz parte dos requisitos de uma Fábrica de Aprendizagem no sentido restrito.

Portanto, quanto a caracterização do ambiente de aprendizagem do LabEGI verifica-se como sendo um ambiente de aprendizagem realista em que o producto físico é operacionalizado num fluxo de valor contínuo caraterizando desta forma uma Fábrica de Aprendizagem no sentido restrito. Além disso, estes ambientes implicam a presença física dos participantes permitindo moldar as condições fabris com base nas suas ideias.

b) Quanto a abordagem morfológica

Modelo Operacional da LabEGI

Evidências referentes a observação do LabEGI refletem um modelo operacional de uma Instituição Superior de Educação onde cada funcionário estabelece um vínculo com a instituição justificada pela cultura enraizada. A transformação do LabEGI numa Fábrica de Aprendizagem operacional decorre há aproximadamente dois anos devido ás incertezas demandas. Pela necessidade de uma operação sustentável a instituição determina um financiamento interno efetuado pelos pagamentos de propinas. A tabela 3.5 mostra os indicadores avaliados na dimensão de modelo operacional do LabEGI.

Tabela 3.5. Modelo operacional

Adaptado (Abele et al., 2017)

Modelo Operacional	**Operador**	Instituição Académica	Instituição Não Académica			Instituição Orientada ao Lucro	
		Universidade	Faculdade	Vocacional	Indústria	Consultoria	Companhia
	Treinador	Professor	Pesquisador	Especialista	Estudante	Consultor	
	Desenvolvimento	Próprio desenvolvimento	Desenvolvimento c/ assistência externa			Desenvolvimento externo	
	Fundos	Fundos Internos			Fundos Externos		
	Modelo de Negócio	Modelo Aberto			Modelo Fechado (Programa de Treinamentos para uma única empresa)		
		Taxa do Curso					

Objetivos e Metas do LabEGI

Os objetivos principais do LabEGI são de oferecer um ambiente de aprendizagem e treinamento a fim de apoiar na transferência e no desenvolvimento de competências para os alunos do curso de EGI com o foco em conteúdos de aprendizagem no âmbito de produção, princípios *Lean*, desenvolvimento de produtos, logística e processos de planeamento da produção da linha de montagem, considerando as métricas de desempenho nomeadamente *takt time*, *cicle time*. Havendo incerteza se posteriormente poderá ser usada como um objeto de pesquisa ou não. A tabela 3.6 apresenta os objetivos e as metas pretendidas no LabEGI.

Tabela 3.6. Objetivos e Metas do LabEGI

Adaptado (Abele et al., 2017)

Objetivos e Metas	**Objetivo Principal**	Educação	Treinamento			Pesquisa	
	Objetivo Secundário	Ambiente de Teste/Piloto		Produção Industrial		Transferência de Inovação	
	Grupo Alvo	Estudantes			Funcionários		
		Licenciatura	Mestrado	Phd	Trabalhadores Qualificados	Trabalhadores Não Qualificados	Gerentes
	Indústria Alvo	Manufatura	Logística			Outros	
	Conteúdo de Aprendizagem	Engenharia Industrial	Indústria 4.0	Lean	Prototipagem	Processo de Criação de Produtos	
	Métodos de Ensino	Jogos de Simulação	Estudo de Casos	Células de aprendizagem	Demonstrações	Apresentações	

Processo do LabEGI

A dimensão de processo pressupõe identificação do ciclo de vida do produto, fábrica, pedidos e tecnologia. Isto quer dizer que os indicadores devem ser aplicados ao atual LabEGI e aos equipamentos/materiais lá presentes, por isso em termos de grau de automação é considerada manual pela sua inexistência e ela condição dos recursos do LabEGI. O estágio do produto disponível é o de design e montagem porque apenas temos estes indicadores. A tabela 3.7 ilustra os aspetos funcionais da dimensão de processo do LabEGI.

Tabela 3.7. Processo do LabEGI

Adaptado (Abele et al., 2017)

<table>
<tr><td rowspan="12">Processo</td><td rowspan="4">Ciclo de Vida</td><td>Produto</td><td colspan="2">Planeamento</td><td colspan="2">Desenvolvimento</td><td>Design</td><td>Prototipagem</td><td rowspan="4">Manufatura</td><td rowspan="4">Montagem</td><td rowspan="4">Logística</td></tr>
<tr><td>Fábrica</td><td colspan="3">Planeamento de Investimento</td><td colspan="2">Conceito da Fábrica</td><td colspan="2">Planeamento do Processo</td></tr>
<tr><td>Pedido</td><td colspan="2">Configuração</td><td colspan="3">Sequenciamento</td><td colspan="2">Plano e Programar</td></tr>
<tr><td>Tecnologia</td><td>Planeamento</td><td colspan="4">Desenvolvimento</td><td colspan="2">Teste Virtual</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Manufatura</td><td>Funções</td><td colspan="4">Gestão de Cadeia de Abastecimento</td><td colspan="4">Gestão de Qualidade</td></tr>
<tr><td>Material</td><td colspan="4">Fluxo de Produção Contínua</td><td colspan="4">Fluxo de Produção Discreta</td></tr>
<tr><td>Processo</td><td colspan="2">Produção em Massa</td><td colspan="2">Produção em Série</td><td colspan="2">Pequenos Lotes</td><td colspan="2">Mix de Produção</td></tr>
<tr><td>Organização</td><td colspan="2">Bancada de Trabalho</td><td colspan="2">Workshop</td><td colspan="2">Fluxo de Produção</td><td colspan="2">Local Fixo</td></tr>
<tr><td>Automação</td><td colspan="2">Manual</td><td colspan="2">Híbrida</td><td colspan="4">Totalmente automatizada</td></tr>
<tr><td>Tecnologia de Manufatura</td><td colspan="3">Físico</td><td colspan="2">Química</td><td colspan="3">Biológica</td></tr>
</table>

Configuração do LabEGI

A configuração da LabEGI caracteriza-se por uma instalação constituída por dispositivos digitais que podem ser aplicados para explicar os conceitos de *Industrie 4.0* tornando-o num ambiente de aprendizagem físico capaz de suportar a integração dos recursos de tecnologia de informação para um processo eficiente de produção contínua, apesar disso é notável a grande limitação das tecnologias no LabEGI.

Além disso, a instalação é suportada por uma área de montagem física suscetíveis a adaptação de modo a maximização da utilização da fábrica de aprendizagem quanto aos objetivos de aprendizagem pretendidos e possíveis ideias dos alunos.

Tabela 3.8. Configuração do LabEGI

Adaptado (Abele et al., 2017)

Configuração	**Ambiente de Aprendizagem**	Físico (Planeamento+Execução)	Físico+Digital	Virtual (Planeamento+ Execução)		
	Escala	Escala Reduzida	Tamanho Natural			
	Nível de Trabalho	Estacão de Trabalho	Sistema de Trabalho	Fábrica	Network	
	Mutabilidade	Mobilidade	Modularida de	Compatibilidad e	Escalabilida de	Universalida de
	Dimensões de Mutabilidade	Layout e Logística	Caraterística do Produto	Design do Produto	Tecnologia	Quantidade do Produto
	Integração de IT	Antes do início da produção (CAD e CAM)	Após o início da produção (ERP e MES)	Após a fase de produção (CRM e PLM)		

Produto do LabEGI

A consolidação do produto disponível do LabEGI é irreal e adaptável didaticamente para as atividades dos alunos. O processo de montagem é consolidado pela existência de manuais de instruções incluindo a gestão visual dos componentes. A quantidade dos componentes do produto corresponde a 46 peças e com certo nível de complexidade para desafiar a aprendizagem. A tabela 3.9 aborda apresenta indicadores característicos da dimensão do produto do LabEGI.

Tabela 3.9. Produto do LabEGI

Adaptado (Abele et al., 2017)

Produto	**Materialidade**	Produto Físico	Serviço			
	Origem do Produto	Desenvolvimento Próprio	Desenvolvimento pelos Participantes	Desenvolvimento Externo		
	Comercialização do Produto	Disponível no Mercado	Disponível no Mercado, porém Didaticamente Simples	Não Disponível no Mercado		
	Funcionalidade de Produto	Produto Funcional	Produto com Funcionalidade Limitada	Sem Funcionalidade/Demonstração		
	N° Diferentes de Produtos	1	2	3-4	Depende dos Participantes	Depende de Pedidos
	N° de Variantes do Produto	1	2-4	4-20		
	N° de Componentes do Produto	1	2-5	6-20	21-50	>50
	Utilidade Adicional do Produto	Reuso/Reciclagem	Exibição	Doação	Venda	Descartável

Didática

O desenvolvimento de resultados de aprendizagem e consequentemente competências foi limitado pela ausência de teor prático do produto disponível no LabEGI, portanto critérios referentes a esta dimensão não foram considerados e nem propostas o que inviabiliza a analise e avaliação da mesma quanto ao LabEGI. Entretanto tem se a esperança de se poder apresentar e discutir as caraterísticas desta dimensão com um novo cenário de Fábrica de Aprendizagem proposta. A tabela 3.10 ilustra a classificação obtida diante destas limitações da dimensão didática do LabEGI.

Tabela 3.10. Processo Didático do LabEGI

Adaptado (Abele et al., 2017)

Didática	**Classes de competências**	Comp. Técnicas e metodológicas	Comp. Sociais e de comunicação	Comp. Pessoais	Comp. Orientadas para ação e implementação	
	Alvo de aprendizagem	Cognitivas	Afetivas	Psicomotoras		
	Estratégia de cenário de aprendizagem	Instrução	Demonstração	Fechado	Aberto	
	Tipo de ambiente de aprendizagem	Desenvolvimento de amb. de aprendizagem	Melhoria do amb. já existente			
	Canal de comunicação	Aprendizagem no local	Aprendizagem remota			
	Grau de autonomia	Instruído	Autoguiado	Autodeterminado		
	Papel do instrutor	Apresentador	Moderador	Treinador	Instrutor	
	Padronização de treinamentos	Treinamento padronizado	Treinamento customizado			
	Fundamentação teórica	Pré-requisito	Atempadamente	Baseado na demanda	Alternando	Depois
	Níveis de avaliação	Feedback dos alunos	Aprendizado dos alunos	Transferência para fábrica real		
	Instrumento de avaliação	Teste escrito	Teste oral	Relatório escrito	Apresentação oral	Exame prático

Portanto, como se pode notar para a dimensão de didática do atual laboratório apenas foram considerados critérios que limitam a formulação de análise e posterior implementação de melhorias. Vale enfatizar que para nova proposta de Fábrica de Aprendizagem apresentada nas secções seguintes esta dimensão será explorada de forma eficiente na determinação de cenários de aprendizado.

Métricas

Os cenários de aplicação prática desta dimensão não foram possível para o LabEGI, justifica a falta de suporte técnico que justificasse a quantificação dos indicadores direcionados à infraestrutura didática do LabEGI. Desde modo a apresentar as suas caraterísticas à luz da nova proposta de implementação pretende ser abordada nas secções posteriores.

3.2. Industrialização do LabEGI

Com base na análise comparativa realizada aos recursos do LabEGI na secção anterior percebe-se que este possui uma infraestrutura para a integração da abordagem de Fábrica de Aprendizagem. Dito isto, as fases subsequentes serão fundamentadas na industrialização do laboratório com uma nova designação FabEGI, cujo objetivo é proporcional um ambiente realista de aprendizagem e próximo ao setor industrial de produção ou montagem.

Por forma a projetar eficazmente a abordagem de industrialização no LabEGI é então proposto um fluxo de trabalho que consiste na derivação das etapas a seguir e a orientação da execução do processo. Baseada em Qin e Fahringer (2012), fluxo de trabalho é um conjunto de tarefas ou atividades a executar numa determinada sequência. Por esse motivo, o fluxo de trabalho a seguir para a industrialização do LabEGI é ilustrada na figura 3.1.

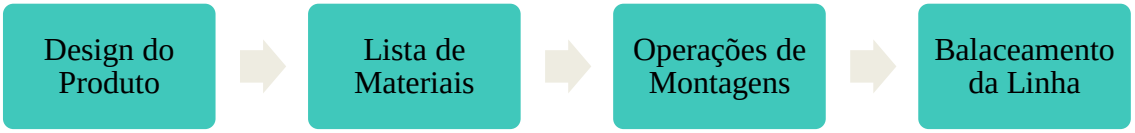


Figura 3.1. Fluxo de Trabalho

Efetivamente, a **primeira fase** do fluxo de trabalho corresponde ao design do produto que diz respeito a uma das fases do ciclo de vida do produto apresentado por Tisch, (2018) na secção referente as caraterísticas de Fábricas de Aprendizagem. Além disso, a fase do design do produto consiste em atividades como:

a) Proposta do produto, o processo de definição de produto para servir como objeto de estudo no desenvolvimento de competência dos alunos na Fábrica de

Aprendizagem se baseou em duas premissas, nomeadamente produtos já disponíveis no mercado ou autocriação de novos produtos (Metternich, Abele e Tisch, 2013).

b) Descrição do produto, após se ter ideia concreta do tipo do produto a adquirir procede-se a última fase do design do produto referente ao funcionamento do produto, identificação, compreensão das peças constituintes do produto através de desenhos e posteriormente a identificação de componentes suscetíveis ao degaste ao longo do seu funcionamento. Uma vez identificados esses componentes, pretende-se propor uma metodologia para a sua substituição.

A **segunda fase** do fluxo de trabalho consiste na elaboração de lista de materiais, onde apos ter compreendido o funcionamento do produto são desenvolvidas tarefas como derivação de componentes e subcomponentes, identificação das peças por meio de codificação e nomeação de cada peça. Seguidamente, tarefas como representação da árvore do produto e posterior diagrama de precedências são efetivadas.

Na **terceira fase** do fluxo de trabalho são geradas as operações de montagens e os tempos de processamento por meio de repetidas operações de montagens dos componentes e subcomponentes. A **quarta e última fase** do fluxo de trabalho é concluída através do balanceamento da linha de montagem.

3.2.1. Design do produto

3.2.1.1. Proposta do produto

Com base na discussão de Metternich et al. (2013) e Wagner et al. (2014) o processo de design de produto da fábrica de aprendizagem deve ser feito sob a perspetiva de completarem os processos de produção e configuração da infraestrutura além disso recomendam dois critérios para a escolha do produto de uma fábrica de aprendizagem a saber, a primeira refere-se à seleção de produtos industriais existentes que possam coadunar com os objetivos de aprendizagem da fábrica e a outra diz respeito à projeção de produtos novos na fábrica de aprendizagem que exerçam influencia nos processos produtivos, objetivos e publico alvo.

Diante disto e do objetivo da FabEGI, optou-se pela primeira premissa sobre a escolha de um produto já existente no mercado, além disso, pressupostos como o design do laboratório concretamente as estações de trabalho forma também decisivos para a escolha do produto e por conseguinte, o fornecedor do produto foi contatado.

Portanto com base nos critérios apresentados efetua-se a proposta de um produto designado por Dispensador de Fita sendo este um produto funcional e disponível no mercado, isto é, se trata de um produto real possibilitando desta forma a integração de uma cadeia de valor na linha de montagem da FabEGI e, a escolha do produto tem a intenção de servir de apoio para a transferência de competências no desenvolvimento de atividades de aprendizagem dos alunos.

3.2.1.2. Descrição do produto

A operacionalização do produto é consideravelmente fácil bastando para isso posiciona-lo na parte superior da abertura de caixas de cartão ou embalagens que se pretenda fecha e pressionar a fita adesiva através da sua alavanca e corta-la. Para além das razoes apresentadas nas secções anteriores sobre a escolha deste produto, o nível relativamente médio de complexidade e através do qual as possibilidades de consolidação dos conceitos aprendidos pelos alunos também o justificam.

Vale enfatizar que o produto é constituído por vinte e uma peças integrando quatro subcomponentes como mostra a figura 3.2 da esquerda e consequentemente formando um conjunto completo na figura 3.2 à direita. A afixação dos quatro subcomponentes é feita numa placa de base aparafusado.

A montagem do subconjunto_1 e o subconjunto_2 formam um único conjunto, mas, no entanto, o subconjunto_1 possui quatro componentes e mais um que forma quando estiver unido ao subconjunto_2. Por sua vez o subconjunto_2 é formado por dois componentes além do que partilha com o subconjunto_1. Em particular a montagem do subconjunto_2 é condicionada pela montagem de um componente do subconjunto_4.

Referir que o subconjunto é composto por quatro componentes e finalmente o subconjunto_3 é constituído por sete componentes. Como se pode notar, excluindo o condicionamento que existe entre a montagem do subconjunto_2 e um componente do subconjunto_4, a montagem dos restantes elementos é feita independentemente.

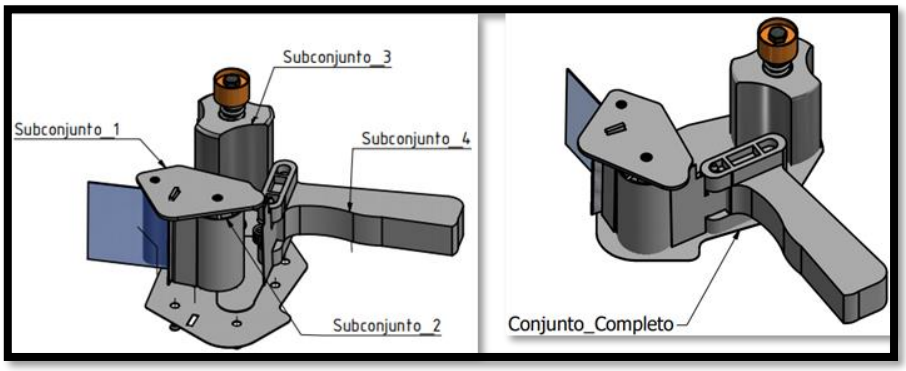


Figura 3.2. Proposta do Produto

3.2.1.2.1. Fabricação de componentes frágeis

Geralmente a eficiência de um certo produto em termos de funcionamento é afetada pela redução do tempo útil de vida das peças que o constituem. Nessa linha de pensamento enquadram-se alguns componentes do produto proposto propensos à uma perda progressiva de material, uma vez que estes componentes têm responsabilidade funcional no produto final torna-se necessário a proposta de resolução do problema.

Posto isto, pretende-se nesta secção abordar as etapas subsequentes a fabricação de componentes do produto proposto suscetíveis à deterioração na FabEGI. Trata-se de componentes compostos de material plástico e que interagem com outros componentes de material metálico. Desta forma, são demostrados a seguir as fases orientadoras para a fabricação desses componentes.

- **Identificação dos componentes a fabricar**

Esta fase abrange o processo de observação detalhada em turno de funcionamento de cada componente e a solicitação decorrente da interação entre vários componentes.

Sendo assim, identifica-se três componentes designados por (1) pino de montagem; (2) pino de suporte e (3) pino os quais são suscetíveis ao desgaste progressivo devido a força de ligação imprimida entre os pinos e os parafusos aquando da sua ligação na placa de base metálica. Os componentes e a zona de desgaste de cada um deles são apresentados no **Apêndice A** através de geração de desenho técnico.

- **Medições**

Seguidamente, procede-se ao processo de medições dos componentes identificados como deterioráveis por meio de instrumentos como régua e paquímetro.

- **Desenho 3D**

Esta fase consiste na geração de desenhos 3D num *Software* denominado *Inventor Profissional* e posteriormente a sua conversão para o formato na linguagem *G-code.*

- **Impressão dos protótipos**

A impressão dos protótipos abrange a definição dos parâmetros da impressora 3D quanto ao diâmetro e o cumprimento do filamento. Com base na definição correta desses parâmetros é expectável que características como resistência mecânica e o acabamento final adequado sejam conferidos aos protótipos.

É importante realçar que a obtenção definita dos protótipos é conseguida a partir de cinco tentativas nas quais implementam-se ações de melhoria baseadas no ciclo de PDCA.

A substituição dos componentes suscetíveis a deterioração por protótipos de impressão 3D tornar-se interessante na medida em que permitirá a diferenciação do produto em termos de números de variantes. De acordo com o grau de complexidade de cada componente são obtidos tempos de impressão 3D e os respetivos parâmetros, como se pode ver no **Apêndice B**.

3.2.2. Lista de material

A vista explodida apresentada no **Apêndice C** é de grande importância para compreender os componentes constituintes do produto, através da desagregação dos subcomponentes e a atribuição de números identificadores. Então através da tabela 3.11 é visível a nomeação e representatividade de cada componente.

Tabela 3.11. Lista de material

Tipo	Código	Nº do Componente	Designação	Ilustração
Base	5038	1	Placa de base	
Elementos de fixação	10120	3	Parafusos	
	10345	7	Parafusos da placa de pressão	
Suporte de Fita	8940	12	Pino	
	8980	14	Encaixe do transportador de fita	
	8990	13	Transportador de fita	
	9020	15	Anilha	
	9640	16	Mola	
	9780	17	Rolha	
	9990	18	Parafuso posicionador	
Conjunto de corte	17445	9	Rolo de aplicação	
	174391	10	Placa de posicionamento	
	3098	8	Pino de suporte	
	4585	2	Pino de montagem	
	3107	6	Placa de pressão	
	4600	4	Lâmina	
	4650	5	Placa de empurrar vertical	
Pega	543861	11	Pega	
	161587	20	Placa de retenção	
	161675	21	Mola de torção	
	172340	19	Eixo superior	

3.2.2.1. Construção da árvore do produto

A partir da lista dos materiais é possível construir-se a árvore do produto englobando todos os seus componentes, subcomponentes e a quantidade de cada um deles, desta forma a figura 3.3 que se segue corresponde a representação da estrutura da árvore do dispensador de fita.

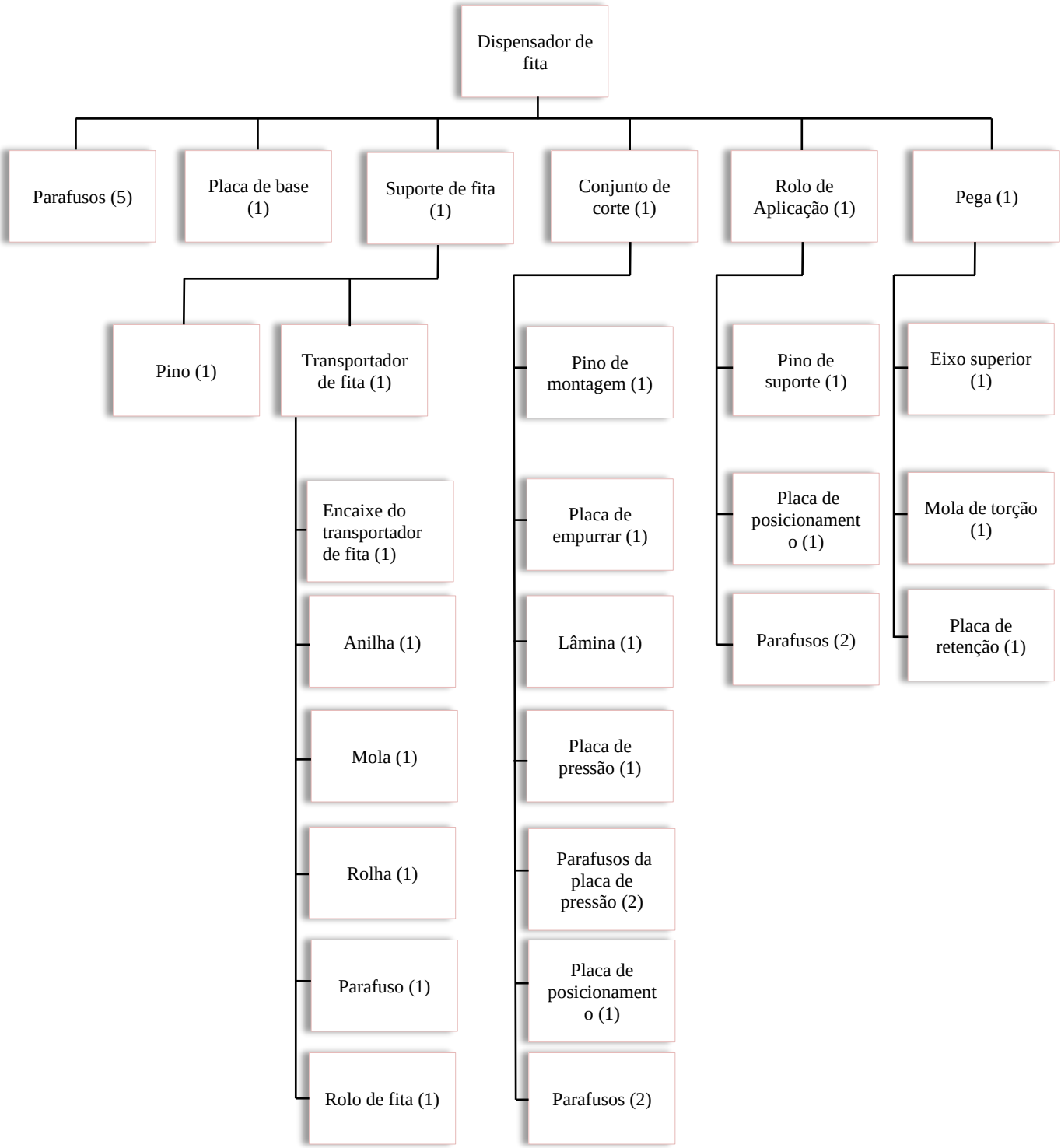


Figura 3.3. Árvore do Produto

3.2.3. Operações de montagem

A categorização dos níveis por meio da árvore a que os componentes do produto pertencem permite identificar e conhecer as operações de montagem através de execuções

repetidas baseadas em fotografias e filmagens, nas quais foi possível identificar as restrições e dependências de alguns componentes.

A execução repetida no processo de montagem justifica-se pelo facto de se tratar de um novo produto, onde não se tinha a experiência e segurança das operações. O que por sua vez, tornou-se útil para notar que cada conjunto das peças do produto pode ser montado seguindo 3 sequências válidas, mas, no entanto, uma delas é que consolidava com o fator funcional do produto, devido algumas restrições de precedências.

3.2.3.1. Restrições de precedências para operações de montagem

As restrições impostas no processo de montagem deste produto derivam de questões relacionadas à própria conceção do produto, isto significa que cada peça é formada por um conjunto de componentes, onde a montagem é realizada individualmente divergindo significativamente uma da outra quanto a simplicidade ou complexidade. Seguidamente, são identificadas as restrições de precedências:

1. Os subcomponentes (1), (2), (3), (4) podem ser montados de forma independente;

2. O componente (3) deve ser montado após a montagem dos subcomponentes (1) e (2);

3. A afixação dos componentes (8) e (9) depende do componente (20) estar tencionado.

A vista explodida resultante da desintegração do produto pertencente ao Anexo serve de suporte para visualizar a identificação numérica dos componentes utilizada nos pontos de restrições de precedências.

Finalmente, são apresentadas na tabela 3.12 as operações e as precedências respetivamente oriundas das restrições de precedências.

Tabela 3.12. Operações de montagem e precedências

Operações	Precedências
A. Em relação ao Suporte da fita: Fixar a extremidade inferior do pino à placa de base	-
B. Apertar com a chave a extremidade inferior do pino à placa de base	A
C. Montar o encaixe no transportador	-
D. Montar o transportador rotativamente no pino	B, C
E. Encaixar a anilha entre a extremidade superior livre do pino e o transportador	B, D
F. Encaixar a mola na extremidade superior da anilha	E
G. Roscar o parafuso posicionador na rolha	-
H. Apertar manualmente o parafuso posicionador e rolha na extremidade livre do pino exercendo uma pressão entre o transportador e a placa de base	B, D, E, F, G
I. Ajustar com chave o parafuso posicionador e rolha na extremidade livre do pino exercendo uma pressão entre o transportador e a placa de base	H
J. Em relação ao Conjunto de corte: Unir com parafusos ao pino de montagem a placa de pressão, lâmina e placa de empurrar vertical em simultâneo	-
K. Apertar com a chave os parafusos no pino de montagem em simultâneo à placa de pressão, lâmina e placa de empurrar vertical	J
L. Fixar a extremidade inferior do pino de montagem na placa de base manualmente	K
M. Apertar com a chave extremidade inferior do pino de montagem na placa de base	L
N. Em relação à Pega: Fixar a pega à placa de base com parafusos manualmente	-
O. Apertar com a chave a pega à placa de base	N
P. Encaixar a placa retenção	O
Q. Encaixar a mola de torção entre a placa de retenção e a pega	P
R. Encaixar o pino na abertura superior da pega e em simultâneo na mola e na placa de retenção	O, P, Q
S. Em relação ao Rolo de aplicação de fita: Fixar rotativamente a extremidade inferior do pino de suporte à placa de base	-
T. Apertar com a chave a extremidade inferior do pino de suporte à placa de base	S
U. Tensionar a placa de retenção	O, P, Q, R
V. Montar o rolo de aplicação de fita acima do pino de suporte	T, U
W. Em relação ao Conjunto de corte e ao Rolo de aplicação de fita: Fixar a placa de posicionamento na extremidade livre do pino de montagem e fixar simultaneamente a outra extremidade livre do rolo	M, V
X. Apertar com a chave a placa de posicionamento na extremidade livre do pino de montagem e apertar simultaneamente a outra extremidade livre do rolo	W

Com base nas restrições de precedências associadas as tarefas definas na tabela 3.12 é obtido o diagrama de precedência da figura 3.4.

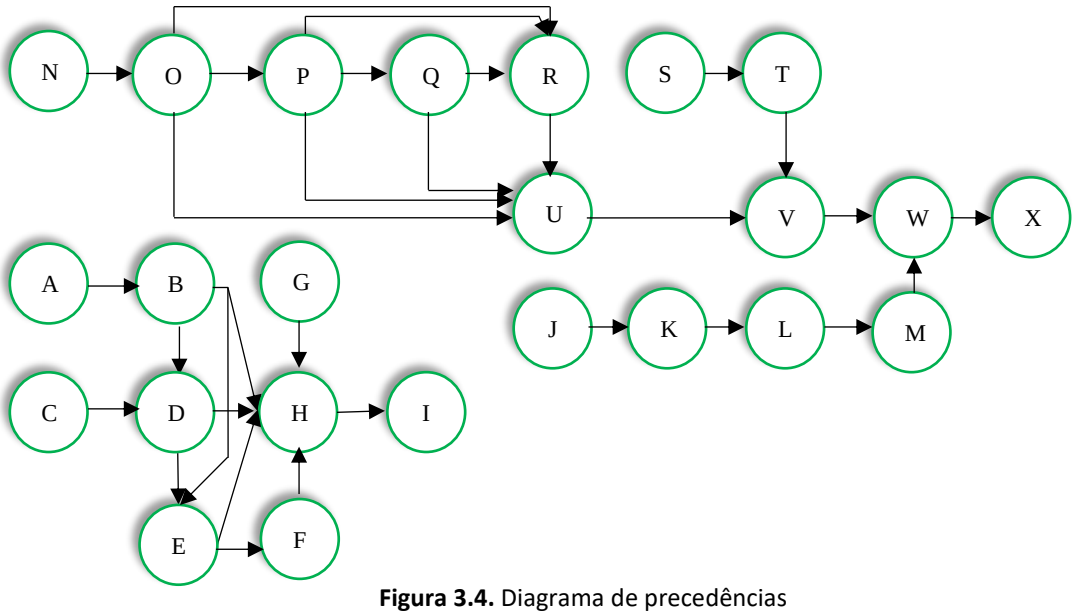


Figura 3.4. Diagrama de precedências

3.2.3.2. Tempos de processamento das operações de montagem

A partir do diagrama de precedências é, então possível a geração de tempo de processamento da cada tarefa por meio da aplicação de leitor de códigos de barras. A proposta dessa aplicação com um gerador de tempos de processamento das tarefas é apresentada nas secções posteriores.

A geração dos tempos de processamento das operações apresentados no **Apêndice D** foi obtido através de cinco amostras efetuadas a cada operação, julgadas confiáveis pelo fato de se notar baixa variabilidade entre os tempos medidos e, cujos valores foram convertidos em valores médios (em segundos) apresentados na tabela 3.13.

Tabela 3.13. Tempos médios de processamento das operações

Operações	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Tempos Médios (s)	9	5,8	6,8	2,6	2,4	2,6	9,4	10,4	9,6	10,6	9,6	11	7,2

Operações	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Tempos Médios (s)	7	8,8	7	9	9,6	9,8	8,4	2,8	6	8,8	10,8

Na fase de medição de tempos de processamento das operações, foram tidos em consideração as seguintes condições:

1. Preparação antecipadamente as condições necessárias de higiene e seguração no posto de trabalho;

2. Todas as ferramentas úteis para a operação devem estar junto ao operador;

3. Todas as operações são realizadas nos postos de trabalho;

4. Utilização do leitor de código de barras para o registro do tempo;

5. Mesmo operador a efetuar o registro do tempo de processamento.

A evolução dos tempos de processamento médios é representada pelo gráfico da figura 3.5. Nota-se, contudo, que o gráfico apresenta uma variabilidade significativa nos tempos de processamento da operação F e G, T e U da qual advém da tecnologia adotada na conceção dessas peças e da relativa complexidade das tarefas. Apesar de existir essa variabilidade, pode ser atenuada pela habilidade da execução repetida das operações e consequentemente familiarização dos operadores.

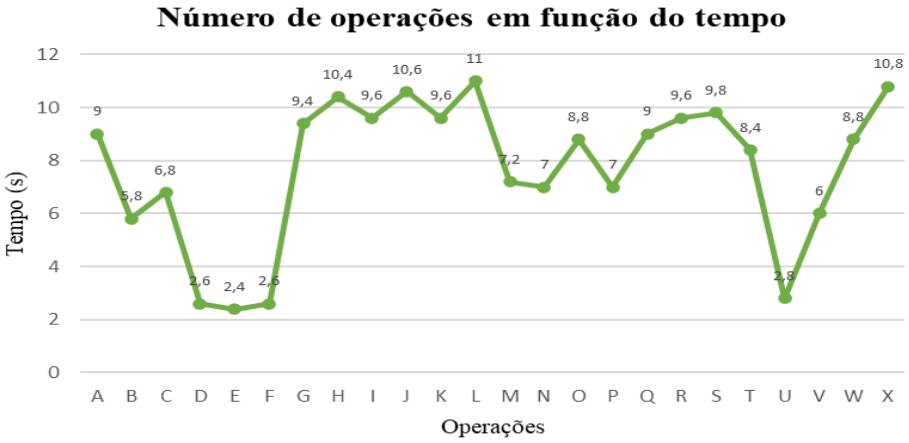


Figura 3.5. Evolução dos tempos médios de processamento de operações

3.2.4. Balanceamento da linha de montagem

O balanceamento da linha de montagem da FabEGI consiste na afetação das operações com o objetivo de alcançar um fluxo contínuo na linha de montagem, baseada na metodologia de heurística de pesos pesados. Por essa razão, as premissas que deram início ao balanceamento da linha, podem ser dividas em três estágios distintos: (a) tempo disponível para a produção do produto, (b) definição da capacidade de montagem, (c) o cálculo do *takt time.*

3.2.4.1. Tempo de trabalho disponível

Pelo fato de se tratar de um Laboratório utilizado para a transferência de conhecimentos das unidades curriculares do curso de EGI para o tempo de ocupação da linha de montagem pelos alunos é definida conforme a duração de cada unidade curricular, ou seja, a carga horária de uma unidade curricular corresponde a 04horas representando um turno de trabalho, dentro desta carga horaria está agregado o tempo para as refeições/repouso dos alunos.

Para o cálculo do tempo disponível de trabalho do estudo de caso optou-se por dividir a carga horaria em 02 turnos de trabalho visto que se trata de turmas numerosas. Estas condições estão apresentadas na tabela 3.14:

Tabela 3.14. Tempo disponível de trabalho

	Dia	Horas	Minutos	Segundos
Turno 1	1	2	120	7200
Turno 2	1	2	120	7200

Tempo disponível de trabalho total	240	minutos

A tabela 3.14 ilustra o valor obtido para o tempo disponível de trabalho para os dois turnos de montagem do produto correspondente a 240 minutos. Por conseguinte, utiliza-se o *cicle time* obtido no somatório dos tempos de processamento e o tempo disponível de trabalho para calcular a capacidade de montagem da linha. A capacidade de produção da linha é conseguida através da equação (1).

$$Cap.\,produção = \frac{tempo\ disponivel\ de\ trabalho}{cicle\ time} \qquad (1)$$

Vale ressaltar que a capacidade de produção é definida tendo em conta que as operações são realizadas em dois turnos de trabalho, obtendo desta forma uma quantidade de 76 Dispensadores/dia.

$$Cap.\,produção = \frac{240}{3{,}13} = 76\ Dispensadores/dia$$

Buscando uma afetação equilibrada das operações para os 03 postos de trabalho para um *cicle time* de 3,13 minutos, obtém-se um *cicle time* calculado a seguir:

$$Cicle\ time = \frac{240}{(76 \times 3)} = 1{,}05\ minutos$$

Efetivamente, o *cicle time* obtido corresponde a duração que um conjunto de operações devem ser realizadas em cada posto de trabalho.

3.2.4.2. *Layout* da linha de montagem da FabEGI

A configuração da FabEGI é composta basicamente pela área do escritório, linha de montagem, armazéns e bancada da impressora 3D. A proposta da configuração da linha de montagem baseia-se na análise feita aos tempos de processamento de cada tarefa e suas relações de precedências quanto a sua alocação pelo número de postos trabalho disponíveis na FabEGI.

Diante desses critérios e de modo a se obter um alto desempenho da linha de montagem é adotada um arranjo de linha de montagem em série onde os postos de trabalho são dispostos paralelamente como mostra a figura 3.6. Este arranjo se adequa as condições da FabEGI e é justificado pelo número de postos de trabalho disponíveis, concretamente três postos de trabalho assim como a necessidade de execução continua das operações (de Negreiros et al., 2019).

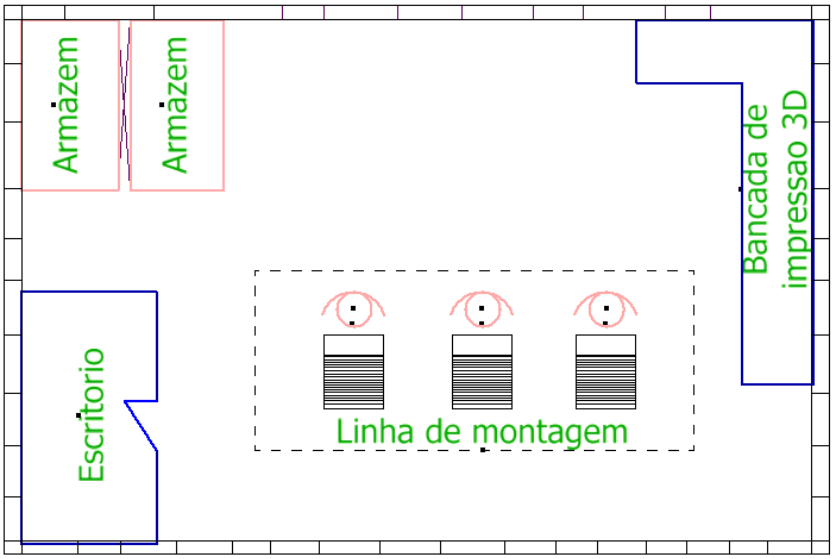


Figura 3.6. *Layout* da FabEGI

Na figura 3.7 pode se ver através do diagrama de *Spaghetti* os movimentos que os alunos realizarão na FabEGI entre as estações de trabalho.

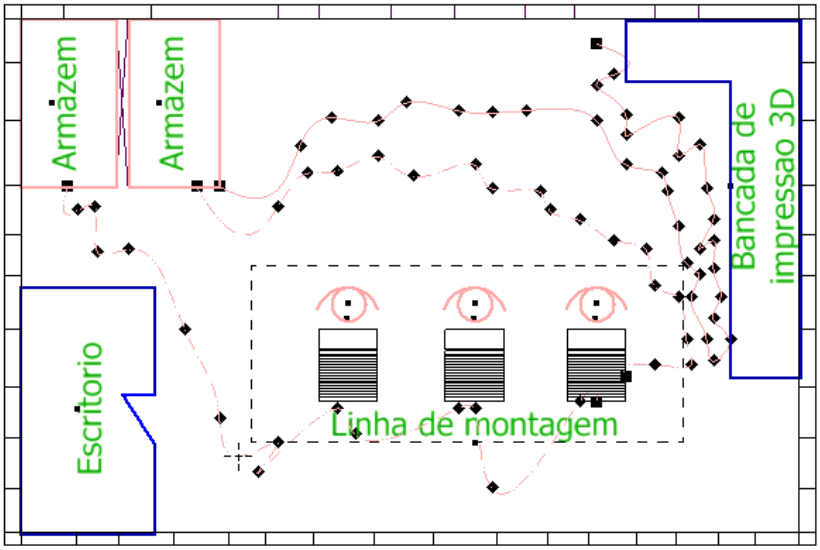


Figura 3.7. Diagrama de *Spaghetti*

3.2.4.3. Heurística dos pesos posicionais

A heurística dos pesos posicionais provém da combinação dos tempos de processamento e do diagrama de precedências permite determinar os pesos posicionais de cada tarefa resultante do somatório da duração de cada uma delas e os respetivos sucessores, apresentada no **Apêndice E**. Portanto, a afetação das operações será feita seguindo a ordem decrescente dos pesos posicionais.

3.2.4.3.1. Restrições de afetação das operações

Com o intuito um balanceamento eficiente, são estabelecidas as restrições para a distribuição das operações aos postos de trabalho de forma igualitária, uma vez que o balanceamento pretendido é em torno do *cicle time* de 1,05 minutos (63segundos) correspondente ao tempo que o operador terá de efetuar um conjunto de tarefas em cada posto, tendo em conta as seguintes restrições:

a) Todas as operações podem ser efetuadas em cada um dos postos de trabalho;

b) O conjunto de operações deve ser alocado em cada posto de trabalho de forma a não exceder o *cicle time*;

c) As operações P, Q e R devem ser realizadas no mesmo posto de trabalho;

d) As operações U e V devem ser realizadas no mesmo posto de trabalho.

3.2.4.4. Afetação das operações por posto de trabalho

De modo a satisfazer as restrições apresentadas na secção é então realizado a sequência da afetação das operações por posto de trabalho, como mostra a tabela 3.15:

Tabela 3.15. Afetação das operações por posto de trabalho

Posto de trabalho	Operações	Tempo estimado por posto de trabalho (s)
Posto 1	N, O, P, Q, R, J e K	61,6
Posto 2	S, T, A, B, C, D, L e G	62,8
Posto 3	U, V, M, W, X, D, E, F, H e I	60,6
	Tempo total estimado para a realização de uma montagem completa	185

Dado que o objetivo pretendia realizar uma distribuição das operações por posto de trabalho disponíveis na FabEGI de modo que a carga de trabalho por posto não excedesse o *cicle time* cumprindo com as restrições das operações. Assim, através da figura 3.8 resultante do balanceamento da linha de montagem verifica se a afetação das tarefas por posto de trabalho.

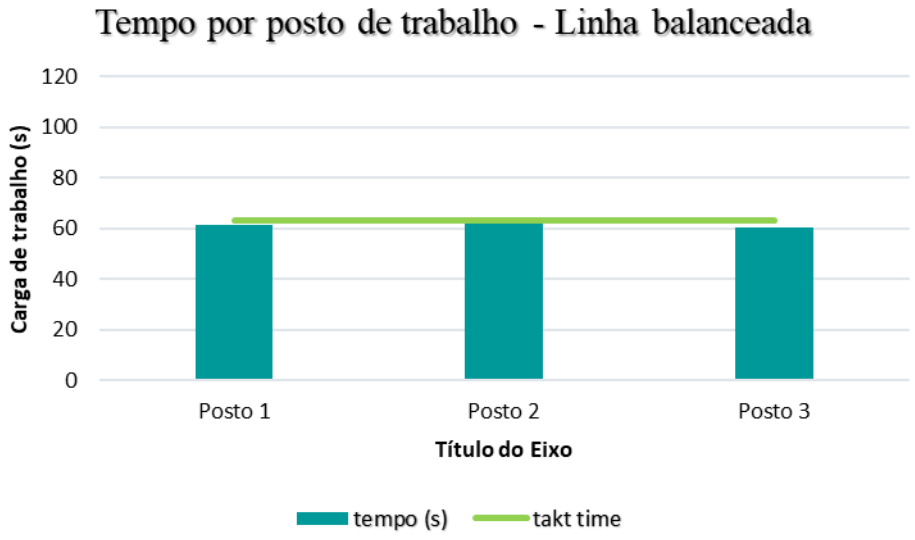


Figura 3.8. Linha de montagem balanceada

O valor correspondente ao tempo inativo da linha apresentado na tabela é justificado pelas restrições de precedências, mas, entretanto, não apresenta influencia significativa ao funcionamento da linha.

4. PROPOSTA DIDÁTICA PARA A FabEGI

No geral o conceito didático de uma Fábrica de Aprendizagem é orientado ao desenvolvimento das competências por esse motivo, este capítulo pretende apresentar as atividades para os alunos desenvolvidas na FabEGI sob a premissa de Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem proposta por (Tisch et al., 2016).

Como foi abordado na secção da revisão de literatura o Guia Curricular das Fábricas de Aprendizagem visam na determinação de duas transformações didáticas. A determinação das atividades de aprendizagem baseia-se no produto proposto na secção 3.2.1 e com a integração de princípios *Lean manufacturing* possibilitando uma aprendizagem experimental e orientada para ação.

Em suma, o objetivo geral deste capítulo é formular atividades no contexto de FabEGI orientadas a análise do produto testado, diferentes processos de montagem, estudos dos tempos de processamento e comparação do produto testado com o produto novo.

4.1. Atividades para FabEGI

Segundo Tisch et al. (2016) o Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem funciona como uma ferramenta de suporte para a elaboração de módulos e situações de aprendizagem destinadas às Fábricas de Aprendizagem. De modo a seguir uma metodologia na didática das atividades é indispensável a divisão de módulo de ensino em: introdução do produto, análise do produto, processos de montagem e comparação do novo produto com o produto testado, a figura 4.1 ilustra o fluxo dos módulos.

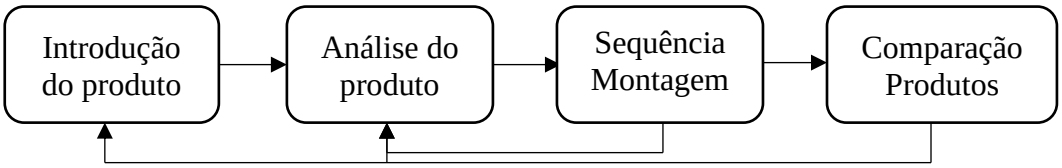


Figura 4.1. Módulos de Aprendizagem

Esta esquematização serve para nortear a elaboração das atividades e situações de aprendizagem. A partir do esquema de módulos é possível realizar a descrição das atividades, a identificação das competências pretendidas orientadas pela GCFA e a identificação das evidências resultantes da transferência das competências.

4.1.1. Atividade 1

A fase do desenvolvimento da atividade 1 inicia no primeiro módulo que corresponde à Introdução do produto, cujo objetivo é criar um elo de familiarização dos alunos com o produto bem como todo o cenário de aprendizado. É então, nesta fase que o formador tem a responsabilidade de dividir os alunos em grupos de trabalho e atribuir as funções. Pretende-se aplicar Aprendizagem orientada a resolução de problemas pelo facto de ser considerada um meio de estimulação a criatividade e pensamento critico do aluno (Andersen et al., 2019).

Espera-se que os alunos apliquem as ferramentas *Lean* nomeadamente 5S traduzida em Seleção, Organização, Limpeza, Normalização e Disciplina na FabEGI durante o período de trabalho. A utilização da ferramenta SMED é também de grande relevância na redução de desperdício de tempo para a troca de ferramentas de operações de desmontagens e montagens do produto, o intuito aqui é observar se os alunos têm a sensibilidade em colocar todos os componentes do produto inclusive as ferramentas próximas deles de modo a reduzir o tempo de processamento de cada operação. A transformação de competências do módulo Introdução do produto é apresentada na tabela 4.1

Tabela 4.1. Transformação de competências do módulo Introdução do produto

Adaptado (Tisch et al., 2016)

Competência pretendida	Atividades (desempenho)
No final do **módulo 1**, o aluno deve ser capaz de: Identificar e projetar a Gestão visual do produto aplicando as ferramentas 5S e SMED.	1. Desmontagem do produto em subcomponentes e componentes
	2. Registro sistemático dos subcomponentes, componentes, desenho e *Bill of materials*
	3. Esquematização da árvore produto
Conhecimento Profissional Correspondente	**Conhecimento Conceitual Correspondente**
Conhecimento sobre aplicação do desenho para o esboço dos componentes	Conhecer as vantagens do registro das etapas de desmontagem de um produto
Conhecimento sobre projetar a árvore do produto	
Conhecimento sobre a aplicação da metodologia de Gestão visual	
Conhecimento sobre contextos de aplicação das ferramentas *Lean*	Reconhecer os benefícios em aplicar as ferramentas *Lean* para auxiliar nos processos de montagem

Com base na tabela 4.1 verifica-se que a realização das atividades 1, 2 e 3 possibilita o alcance da competência pretendida na área de conhecimento profissional e conceitual acima citados.

A evidência pretendida será o registro da planilha *Bill of Materials* apresentada no **Apêndice F**. O preenchimento desta planilha deve ser sustentado pela gestão visual das dos componentes do produto. Vale ressaltar que o registro da ferramenta *Bill of Materials* pressupõe que os alunos realizem a identificação de cada componente através de codificação bem como a nomeação de cada componente.

4.1.2. Atividade 2

A atividade 2 abrange o segundo módulo referente à Análise do Produto, esta fase consiste na identificação e análise da relação entre componentes, subcomponentes através da realização de processos repetitivos e/ou diferentes de montagem. Pretende-se que o aluno a partir da análise dos aspetos inerentes a conceção tecnológica do produto e das restrições de precedências efetue a identificação das possíveis operações de montagem do produto.

Além disso, é pretendido que neste módulo de aprendizagem os alunos aplicam a ferramenta de PDCA que consiste na melhoria continua, onde etapa como a planificação acontece com o registro das funções de cada componente do produto, prosseguindo para a análise de critérios de precedências entre os componentes e elaboração das operações de montagem.

Assim, o aluno deve montar todos os componentes na ordem listada por ele de modo a validar as restrições de precedências e posteriormente deve realizar os devidos ajustes em termos das operações e relações de precedências se necessário.

A correta sequência das operações de montagem proposta pelos os alunos é condicionada pelas restrições de precedências referentes ao produto e, caso não sejam satisfeitas o aluno volta a repetir o processo. Na tabela 4.2 é apresentada a transformação de competências e as respetivas atividades.

Tabela 4.2. Transformação de competências do módulo Análise do produto
Adaptado (Tisch et al., 2016)

Competência pretendida	Atividades (desempenho)
No final do **módulo 2**, o aluno deve ser capaz de: Propor o sequenciamento correto das operações de montagem do produto aplicando o ciclo de PDCA	1. Registro dos critérios de restrições
	2. Registro, em forma de documento o fluxo de operações de montagem
	3. Escolha da melhor ordem de montagem
	4. Representação do diagrama de precedências do produto
Conhecimento Profissional Correspondente	**Conhecimento Conceitual Correspondente**
Conhecimento sobre aplicação da teoria das restrições e do fluxo de operações de montagem de um produto	Conhecer a importância do estudo da teoria das restrições e do fluxo de operações de montagem de um produto
Conhecimento da metodologia para aplicação da melhoria continua PDCA na análise do produto	Reconhecer os benefícios em aplicar as ferramentas PDCA para auxiliar nos processos de montagem

Vale ressaltar que as operações de montagem elaboradas pelo grupo de alunos serão diferentes para cada grupo pelo fato de existir pelo menos três ordens de montagem possíveis dos subcomponentes do produto. Portanto o objetivo do formador é observar se os alunos são capazes de extrair e utilizar o fluxo de operações do produto para propor um sequenciamento lógico de operações de montagem. No **Apêndice G** é proposto uma planilha que deve ser disponibilizada aos grupos de alunos para o registro da ordem das operações e as suas precedências.

4.1.3. Atividade 3

O procedimento da atividade 3 ocorre no terceiro módulo de aprendizagem Sequência de Montagem. Este módulo abrange a geração de tempos de processamento de cada operação registrada na atividade 2. Pretende-se que cada grupo de alunos realiza uma amostra de dez repetições para as operações de montagem identificadas na atividade 2, a geração de tempos será efetuada simultaneamente ao processo de montagem pelo aluno através da aplicação do Leitor de Códigos de Barras.

O aluno deve obter o tempo das operações através do critério dos tempos médios de cada operação, isto inclui o somatório dos tempos de cada operação dividido pelo número de repetições da mesma operação. Após se obter o tempo médio, pode-se determinar o *cicle*

time que é necessário para estimar a capacidade de produção. Na tabela 4.3 é apresentada a transformação de competências e as respetivas atividades.

Tabela 4.3. Transformação de competências do módulo Sequências de montagem do produto Adaptado (Tisch et al., 2016)

Competência pretendida	Atividades (desempenho)
No final do **módulo 3**, o aluno deve ser capaz de: Determinar os tempos para diferentes tarefas de montagem aplicando o critério de tempos médios	1. Montagem do produto de acordo com o padrão definido da atividade 1
	2.Geração de tempos de cada operação de montagem
	3. Registro do histórico da medição de tempos de cada operação de montagem
Conhecimento Profissional Correspondente	**Conhecimento Conceitual Correspondente**
Conhecimento sobre a aplicação dos métodos de trabalho no processo de montagem e desmontagem do produto	Conhecer a importância métodos de trabalho no processo de montagem e desmontagem do produto
Conhecimento sobre a aplicação de metodologias para a determinação de números de amostras a serem cronometradas e tempos médios	Reconhecer os benefícios em aplicar as metodologias para a determinação de números de amostras a serem cronometradas e tempos médios

É importante ressaltar que a agilidade que os alunos devem ter para o processo de montagem e desmontagem vai depender muito da atividade 1 em que eles estiveram familiarizados com o produto e claro, não descartando a possibilidade de que uns podem saírem-se melhores que os outros isto devido a experiência e aptidão.

Além disso, existe a probabilidade de se efetuarem montagens incorretas dos componentes bem como o esquecimento de fixação alguns componentes e consequentemente maiores tempos de processamento, por essa razão, é indispensável o acompanhamento do formador e inclusive os esboços e registros realizados na atividade 1 de modo a auxiliar os alunos.

4.1.4. Atividade 4

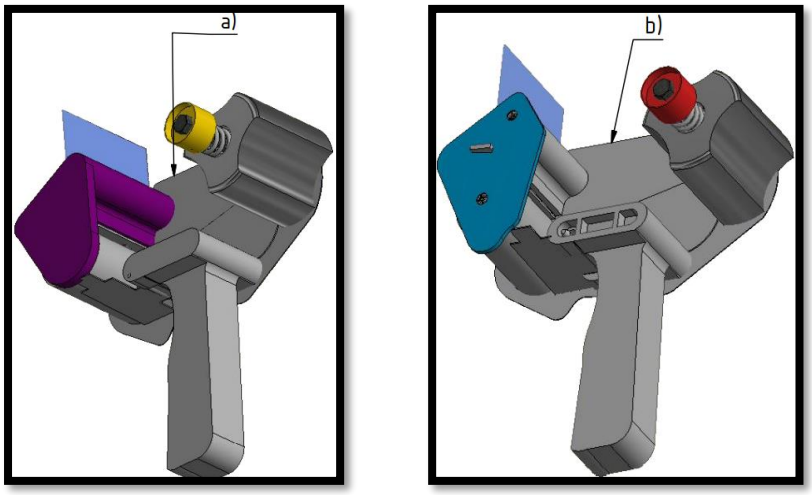
A atividade 4 baseia-se no quarto módulo de aprendizagem em que orienta os alunos para a Comparação de dois produtos, produto testado na FabEGI e produto recebido.

Importa referir que esta atividade é justificada pela alteração do produto testado por um produto novo condicionada pelo fornecedor. Desta forma, antes de descrever as

etapas da atividade 4, é realizada uma análise do novo produto em comparação ao produto testado.

4.1.4.1. Comparação entre o produto testado e o produto recebido na FabEGI

Em termos gerais os dois produtos são nomeados por Dispensadores de fita adesiva pois apresentam o mesmo princípio de funcionamento descrito na secção 3.2.1, a figura 4.2 mostra (a) o produto novo e (b) o produto testado na FabEGI.



a) Produto Novo b) Produto Testado na FabEGI

Figura 4.2. Produtos disponíveis na FabEGI

A partir dos desenhos da figura 4.2 é possível notar que existem algumas alterações na configuração dos componentes (2), (8), (10) e (11) recomenda-se a consulta da vista explodida do produto no Anexo. Dito isto, conclui-se que a nova versão do produto apresenta redução de parafusos de fixação de 04 para 03; redução de número de componentes de 03 para 01; redução do número de componentes que são afixados diretamente na base de 04 para 02. Portanto, recorre-se à matriz *SWOT* mostrada na figura 4.3 para categorizar os inconvenientes, benefícios, oportunidades e ameaças da proposta da nova versão do produto na FabEGI.

	PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
Produto Testado	Componentes suficientes para desenvolver processos de montagem Fácil manuseio Baixo custo de aquisição Disponível no mercado	Necessidade de destreza em alguns componentes Sujeito a erros de qualidade Sujeito a grande variabilidade nos tempos
	OPORTUNIDADE	**AMEAÇAS**
	Operações de montagem Comercialização Criação de parcerias na indústria	Deterioração de alguns componentes Operações repetitivas Fornecedores
Produto Novo	**PONTOS FORTES**	**PONTOS FRACOS**
	Processo de montagem relativamente fácil Diminuição de erros de qualidade Pouca variabilidade nos tempos de processamento	Número de componentes reduzidos
	OPORTUNIDADE	**AMEAÇAS**
	Aplicabilidade na Linha de montagem Comercialização	Deterioração de alguns componentes Operações repetitivas Fornecedores

Figura 4.3. Análise SWOT

Através da figura 4.3 se pode notar algumas vantagens e inconvenientes por não se ter recebido o produto estudado. Assim, torna-se possível propor a atividade 4 para os alunos. Nesta fase os alunos deverão implementar as atividades 1, 2 e 3 para ter suporte na tomada de decisão quanto as diferenças que residem entre os dois produtos.

Na tabela 4.4 é apresentada a transformação de competências e as respetivas atividades.

Tabela 4.4. Transformação de competências do módulo Sequências de Comparação dos produtos Adaptado (Tisch et al., 2016)

Competência pretendida	Atividades (desempenho)
No final do **módulo 4**, o aluno deve ser capaz de: Aplicar a matriz *SWOT*/outra que possibilitam a identificação dos pontos fortes e fracos entre o novo produto e o produto testado na FabEGI	1. Análise do produto novo
	2. Determinação da melhor ordem de montagem
	3. Montagem do novo produto de acordo com a sequência de tarefas
	4. Geração de tempos de cada operação de montagem
	5. Identificação e registro das diferenças relevantes entre o produto novo e o produto testado na FabEGI
Conhecimento Profissional Correspondente	**Conhecimento Conceitual Correspondente**
Conhecimento sobre critérios de desempenho dos dois produtos	Reconhecer a importância dos critérios de desempenho de cada produto para analise comparativa

No final desta atividade espera-se que os alunos sejam capazes de elaborar um relatório em que consta as suas observações e comentários sobre os aspetos supracitados e apresentação de inconveniências do uso do novo produto na linha de montagem da FabEGI bem como as vantagens. As estratégias para a identificação das diferenças entre os produtos em relação ao tipo de peças e tempos de processamento terão que ser aplicadas pelos alunos.

Como se pode notar para cada atividade proposta e implementada na FabEGI existe pelo menos uma competência por alcançar pelos alunos, justificando assim a aplicação do conceito de uma Fábrica de Aprendizagem. Tendo em conta que o tempo disponível de trabalho corresponde à duração de uma aula normal dividida em dois turnos calculados na secção 3.2.4.1, assim a duração efetiva de cada atividade proposta será de 120min. Portanto, uma turma em média de 40 alunos será dividida pela metade em grupos correspondentes à 6 alunos.

Vale a ena ressaltar que as atividades propostas são baseadas na aprendizagem por resolução de problemas. Com o intuito de promover um cenário de desafios semelhantes a um ambiente industrial realista. Desta forma é apresentado na tabela 4.5 a descrição especifica da duração de cada atividade, especificação do cenário de problemas para cada atividade e o *output* resultante de cada atividade.

Tabela 4.5. Sequência de situações de problemas para as atividades propostas

Nº da Ativ.	Duração	Problema	*Output*
1	120min	Como representar o produto de maneira a identificar os componentes e a quantidade de cada um?	Elaborar o *Bill of Materials* e árvore de produto
2	120min	Como determinar a sequência das operações de montagem do produto?	Elaborar a lista das operações e precedências
3	120min	Como gerar os tempos de processamento das operações de montagem de maneira a evitar desperdício de tempo?	Registrar o histórico dos tempos
4	120min	Quias os critérios de desempenho a ter em conta na comparação do produto novo com o produto testado?	Realizar a um relatório de análise comparativa dos produtos

5. DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO INTEGRADA AO LEITOR DE CÓDIGO DE BARRAS PARA RECURSO DIDÁTICO NA FabEGI

Desde o surgimento das Fábricas de Aprendizagem várias tecnologias têm se integrado a esse conceito com o intuito de oferecer uma experiência ainda cada vez mais aprimorada e realista no contexto de produção aos futuros engenheiros.

Por essa razão, este capítulo visa propor uma Aplicação de identificação automática através da leitura de códigos de barras. Esta Aplicação é associada ao Leitor de códigos de Barras para efetuar a leitura e assim gerar tempos de processamento de operações de montagem, *cicle time* da linha de montagem bem como através da sua integração com a Televisão projetar um gráfico que ilustre o fluxo da linha de montagem no contexto da FabEGI.

Assim sendo, as fases inerentes a concepção, geração de código de barras, processo de funcionamento e por conseguinte, a validação da Aplicação na FabEGI é discutida e apresentada a seguir.

5.1. Descrição da Aplicação

A aplicação desenvolvida permite gerar tempos de operações automaticamente através de uma leitura da etiqueta do código de barras por leitor. A luz do leitor é refletida no código de barras e interpreta o código em números que deve ser impresso numa folha A4. A interpretação do código de barras gera um histórico que possui a data e o intervalo de duração que foi realizada a operação. Este histórico é também representado em forma de um gráfico de barras. A importância da representação desse gráfico de barras reside na necessidade de visualização do fluxo de valor da linha de montagem da FabEGI.

Além disso, esta Aplicação pode ser utilizada para a geração de tempos de processamento das operações de montagem. Sendo assim, uma etiqueta deve corresponder a uma operação e desta forma ocorre a geração dos tempos para cada operação.

Outra alternativa de utilização desta Aplicação é a considerada geração de tempos por posto de trabalho. Para isso, o usuário deve utilizar apenas a quantidade de etiquetas correspondentes ao número de postos de trabalho. No caso pratico da FabEGI têm-

se três posto de trabalho na linha de montagem, portanto, cada etiqueta impressa deve corresponder a cada posto de trabalho.

O código de barras utilizado para os testes da Aplicação é do tipo EAN-13, pela vantagem que apresenta na revisão da literatura e a adequação aos objetivos pretendidos com a Aplicação.

5.2. Processo de programação

O processo de programação da Aplicação é a fase chave para a obtenção dos resultados pretendidos. Por essa razão, são apresentados os elementos que contribuem para o funcionamento efetivo da Aplicação.

A ferramenta utilizada para a programação é o *Microsoft Visual Studio* através de uma linguagem de programação designada por *C#* e a *Framework NET* em conjunto com a biblioteca gráfica *Windows Forms* que deu suporte a todos elementos gráficos da Aplicação. O conjunto de dados algoritmos obtidos nesta programação permitirá que o *Input* flua de modo a produzir um conjunto de funcionalidades e a desencadear ações como o tempo e todo o seu histórico.

Entretanto, havia a necessidade de armazenar dados tanto de leituras como dos usuários, portanto, foi utilizado o *SQLite* como base de dados e a linguagem *SQL* e *C#* para interação da aplicação com essa base de dados.

5.3. Restrições de programação

De forma a garantir um desempenho da Aplicação desejado é necessário definir algumas restrições de programação para evitar erros de funcionamento e consequentemente o retrabalho. Assim sendo, os carateres do código de barras não são relacionados a nenhuma variável do banco de dados. No entanto, pretende-se que o *Input* seja o código de treze carateres e que resulta num *Output* correspondente a variável dia da realização da operação, intervalo de tempo da realização da operação e o gráfico de barras englobando o histórico.

5.4. Geração das etiquetas de código de barras

Os códigos de barras a serem utilizados para a geração do tempo são do tipo EAN-13. A geração das etiquetas é feita de forma automática numa plataforma de geração de código de barras *online*. A preferência por um método de geração automática justifica-se primeira pelo objetivo pretendido com a utilização da Aplicação e segundo para tornar a utilização desta Aplicação mais interessante e acessível para o formador e principalmente para o aluno.

Portanto, realizou-se uma pesquisa exaustiva nos sites da internet afim de encontrar uma proposta de aplicação para gerar códigos automaticamente.

Por conseguinte, escolheu-se um gerador de código de barras gratuito denominado por *Generate Free Barcodes Online* pertencente a este site: *https://barcode.tec-it.com/en/EAN13* em que o seu princípio de utilização é bastante intuitivo e simples. O usuário deve aceder ao *site* selecionar o tipo do código de barras EAN-13.

Como se pode ver na figura 5.1, a janela à esquerda possui vários tipos de código de barras, entretanto, interessa apenas o código do tipo EAN-13. Ao aceder a plataforma este tipo de código já se encontra assumido como se pode ver na janela à direita.

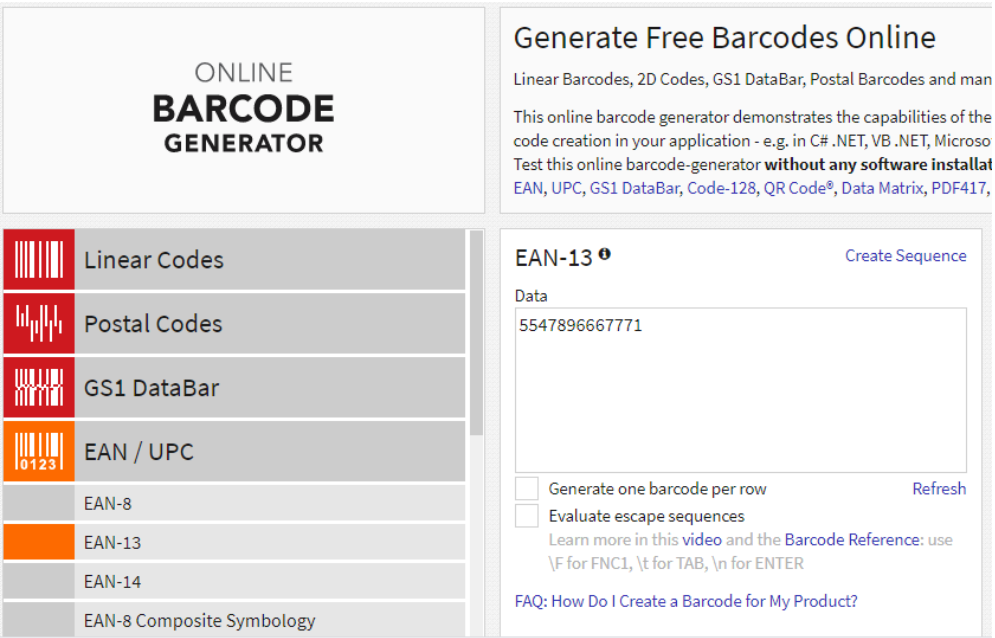


Figura 5.1. Geração automática da etiqueta do código de barras

5.4.1. *Download* da etiqueta de código de barras

Na sequência procede-se para o *download* da etiqueta gerada em forma de uma imagem. Apenas deve clicar no botão vermelho ilustrado na figura 5.2.

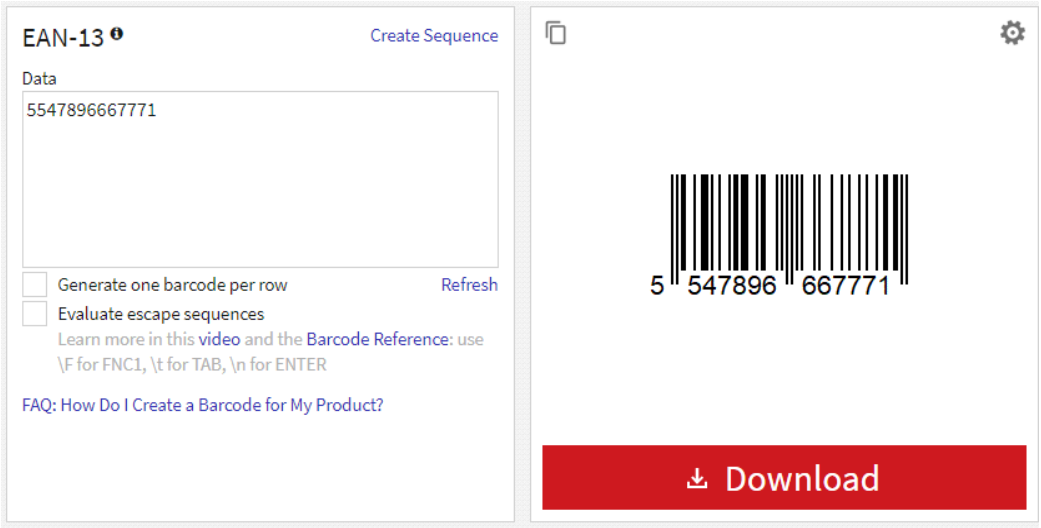


Figura 5.2. *Download* da etiqueta do código de barras

5.4.2. Impressão da etiqueta de código de barras

Tendo feito o *download* segue-se para a fase correspondente à impressão da etiqueta como mostra na figura 5.3.

Figura 5.3. Etiqueta de código de barras

É importante referir que a plataforma permite gerar várias etiquetas com o mesmo código. Entretanto, como os objetivos da Aplicação desenvolvida são de gerar *cicle time* de cada posto de trabalho e gerar tempos de processamento de cada operação é necessário que sejam geradas etiquetas com caracteres diferentes. Para isso, a plataforma apenas permite que o usuário efetue a troca dos caracteres manualmente ou caso contrário deve-se reiniciar a plataforma permitindo assim a atualização do código da etiqueta.

Apesar desses inconvenientes a Aplicação foi testada na FabEGI durante o estudo de caso apresentado no capítulo 2. No entanto, não foi possível gerar as evidências

da sua utilização por meio de registros fotográficos, mas, como mencionado anteriormente a Aplicação foi utilizada para os fins aqui se pretendiam por isso se encontra disponível na FabEGI para servir como um recurso didático de aplicação e ilustrar dos conceitos de *Industrie 4.0*.

5.5. Processo de funcionamento da Aplicação

Com base na codificação das instruções que a Aplicação deve interpretar a quando da sua implementação na FabEGI são descritos os diferentes estágios associados à sua operacionalização. É apresentada na figura 5.4 a estrutura operacional da Aplicação e, a partir desta procede-se à descrição das fases de operação.

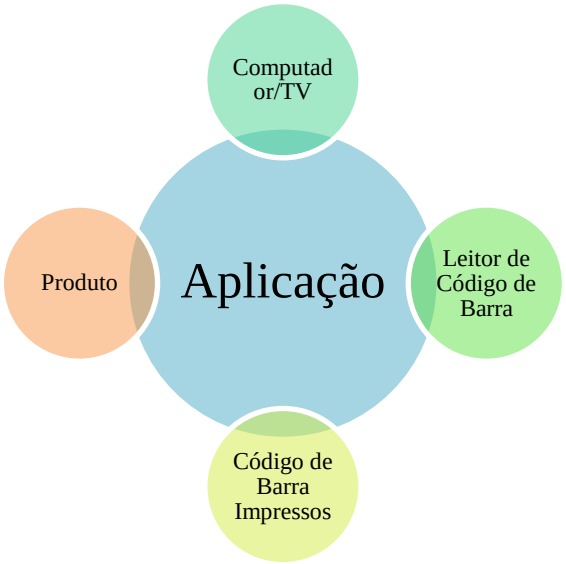


Figura 5.4. Estrutura operacional da Aplicação

A estrutura operacional da Aplicação estabelece a integração entre o computador ou uma Televisão, um leitor de código de barras, código de barras e o produto.

5.5.1. Processo de descompactação da Aplicação

A primeira fase de utilização da Aplicação consiste fundamentalmente na sua instalação no computador ou Televisão. Este procedimento não acarreta nenhuma dificuldade porque se trata basicamente processo intuito e fácil como se pode ver na figura 5.5.

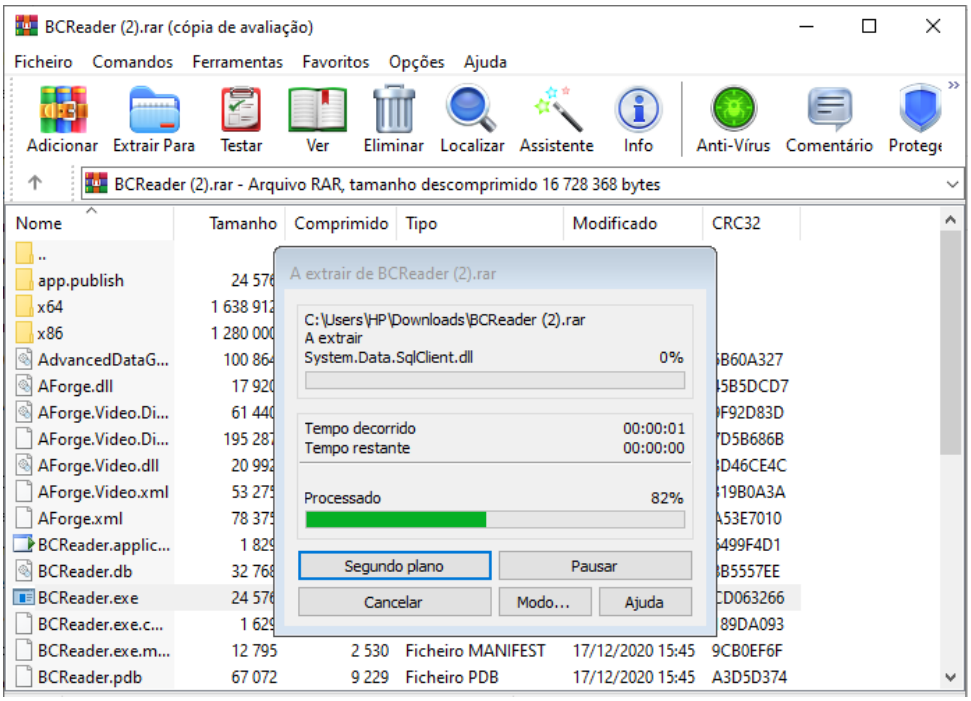


Figura 5.5. Descompactação da Aplicação

5.5.2. Cadastro dos usuários

Como resultado da fase anterior, segue-se à fase do preenchimento dos dados para o cadastro do usuário dentro dos retângulos mostrados na figura 5.6. O registro dos dados permite associar o usuário ao código de barras e posteriormente ao conjunto de operações de cada posto de trabalho. Durante as atividades na FabEGI recomenda-se que os alunos padronizem um nome representativo do grupo para que desta forma seja usado para o cadastro.

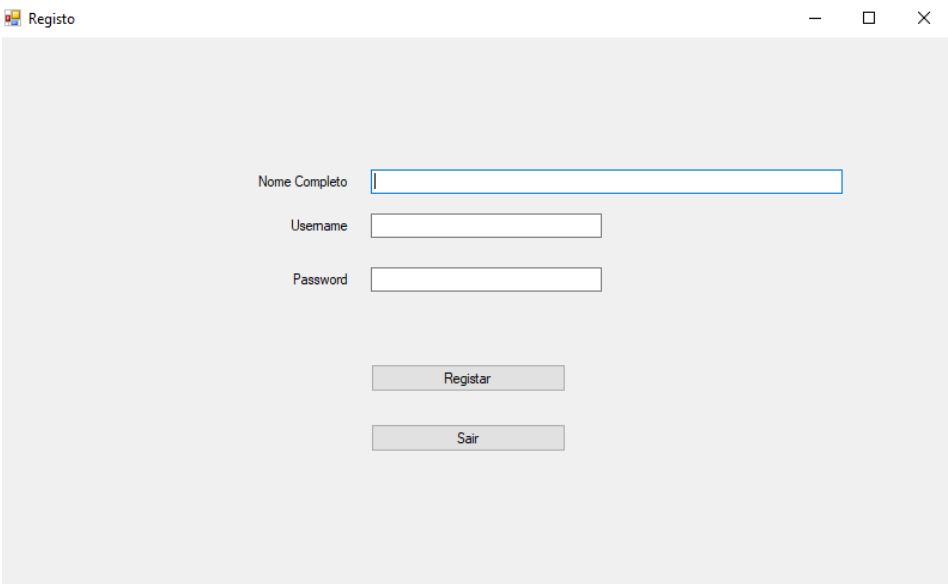


Figura 5.6. Cadastro dos usuários

5.5.3. Processo de *login* para usuários cadastrados

Nesta fase o usuário deve introduzir os seus dados de entrada nas caixas mostras na figura 5.7 pelo que só serão validados os dados correspondentes a etapa de cadastro e para usuários cadastrados. Caso seja a primeira iteração com a Aplicação deverá retornar aos passos anteriores através do clique na caixa de Novo Operador.

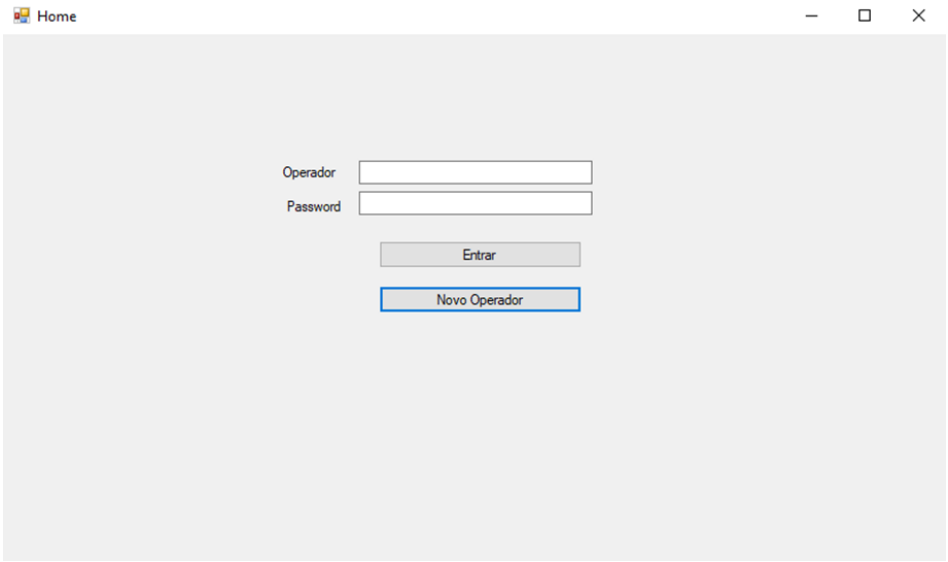


Figura 5.7. *Login* dos usuários

5.5.4. Leitura de código de barras

As operações gerais de leitura de código de barras são descritas e explicadas no capítulo da revisão da literatura. Por essa razão, se assume que nesta fase os alunos tenham conhecimentos profissionais prévios sobre funcionamento dos códigos de barras no contexto de Fábrica de Aprendizagem. Portanto, o enquadramento desta fase assenta-se nas operações de conexão do leitor do código de barras na entrada *USB* do computador ou da Televisão.

A figura 5.8 mostra ecrã principal da Aplicação, onde será efetuado o registro dos códigos de barras. No contexto de FabEGI, os alunos devem posicionar o rato na caixa denominada código de barras e em seguida posicionar o leitor de código de barra afim de ler o código de barra impresso.

Recomenda-se que sejam atribuídas a tarefa de geração de tempos de montagem ao aluno que não esteja com a tarefa de efetuar a montagem do produto de modo minimizar o tempo das operações.

A leitura do código de barras deve ser realizada duas vezes para cada operação ou posto de trabalho. A primeira leitura é feita a quando do início da atividade e no final da mesma atividade é então realizada mais outra leitura, totalizando desta forma o tempo gasto na montagem de componentes do produto por posto de trabalho ou por operações.

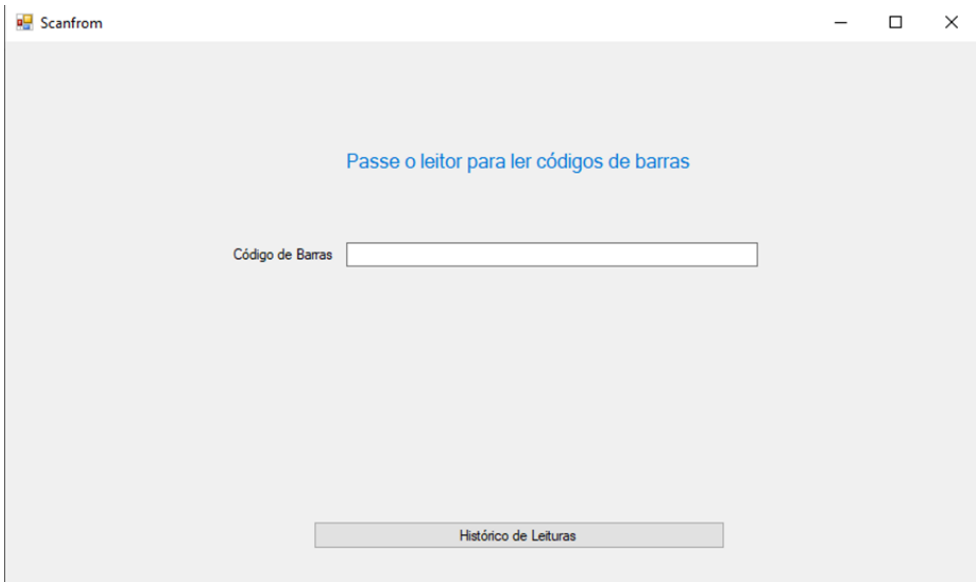


Figura 5.8. Leitura de código de barras

Como se pode verificar a figura 5.8 possui um botão na parte inferior que serve para mostrar o histórico das operações de montagem. Assim, ao terminar a leitura o usuário

poderá usufruir desta função para analisar o fluxo da linha de montagem por meio de um gráfico de barras como mostra a figura 5.9.

Figura 5.9. Histórico dos tempos de montagem

6. CONCLUSÕES

Fábrica de Aprendizagem é um paradigma de ensino que se compromete em trazer para as Universidades um ambiente industrial contribuindo assim para o preparo dos futuros profissionais para o mercado de trabalho. Segundo a revisão da literatura existem muitas Fábricas de Aprendizagem na Europa construídas e o número tende a crescer. Estas fábricas são estabelecidas com orientação diferentes tais como investigação, treino e educação. No caso do contexto de investigação as fábricas tendem a ser utilizadas como objeto de estudo para descobertas tecnológicas e experimentos. No contexto de treino geralmente são direcionadas para atualização das competências dos trabalhadores.

A Fábrica de Aprendizagem orientada para a educação se concentra no objetivo deste estudo pois ela consiste em oferecer um ambiente de aprendizagem orientado aos desafios enfrentados pelos recém-formados num ambiente de trabalho realista. Por essa razão, apresentou-se neste estudo uma proposta de implementação de uma Fábrica de Aprendizagem que consistiu na proposta de um produto disponível no mercado que agregasse atividades de aprendizagem para os alunos do curso de EGI tais como operações de montagem, estudo de tempos, balanceamento de linha e aplicação de ferramentas *Lean* permitindo o desenvolvimento de competências.

Em primeira instância foi analisado o produto existente no laboratório e constatou-se que se trata de um produto fictício e que não agrega nenhuma atividade de aprendizagem devido a montagem de componentes não intuitivamente e ao *cicle time* de 6 minutos para a sua montagem completa.

Numa segunda fase foi proposto um novo produto designado por dispensador de fita adesiva disponível no mercado. De modo a certificar-se que este seria o produto ideal para a FabEGI foram desenvolvidas tarefas como listagem de materiais, operações de montagem, medição de tempos de processamento, proposta do *layout* e por fim o balanceamento de linha. Face aos resultados obtidos conclui-se que o produto se adequa aos objetivos da FabEGI visto que apresenta operações de montagem intuitivas e com nível de dificuldade adequado para a aprendizagem dos alunos. Além disso, apresenta um *cicle time* de 3,13 minutos comparativamente ao produto existente no laboratório.

Em terceira instância foram propostos módulos de ensino baseados no Guia Curricular das Fábricas de Aprendizagem com o objetivo de criar atividades de aprendizagem, situações e aprendizagem e ulterior competências pretendidas. Estes módulos foram elaborados a partir das etapas supramencionadas de modo a permitir que os alunos enfrentem desafios realistas em relação aos problemas típicos de uma indústria que se dedica na montagem de produtos e que aplica nos seus processos de produção princípios *Lean*.

Devido a falta de fornecimento do produto testado foi necessário receber outra versão do produto. Tendo feito uma análise visual na nova versão do produto conclui-se que apresenta componentes em minoria e consequentemente um processo de montagem diferente. Em termos de impacto da substituição do produto testado pelo produto recebido constata-se a necessidade de alterações nas operações de montagem, os tempos de processamento e a afetação das operações por postos de trabalho. No contexto de Fábrica de Aprendizagem não se verificaram impactos muito significativos visto que se trata do mesmo produto apenas numa versão diferente.

Neste estudo propôs-se também o desenvolvimento de uma Aplicação integrada ao leitor *scanner* para geração de tempos de montagem através da leitura de etiquetas de código de barras. Foram atribuídos aos postos de trabalho códigos de barras únicos e impressos representando o primeiro cenário de experimento da Aplicação. Este cenário permitiu a visualização do fluxo de valor da linha de montagem através do gráfico de barras projetado na televisão da FabEGI. Outro cenário de experimento da Aplicação consistiu na sua utilização para a geração de tempos de montagem para cada operação de montagem aqui foram atribuídos a cada operação um código de barras único. No final dos experimentos concluiu-se que para os dois cenários de utilização a Aplicação mostrou-se adequada, porém para uma correta utilização e cumprimento do objetivo de minimizar o *cicle time* é essencial que exista um operador responsável pelo manuseio da Aplicação.

Pela análise dos experimentos, foi possível identificar pontos fracos da utilização desta Aplicação nomeadamente a não associação dos códigos de barras com os objetos. Neste contexto os objetos são representados por número de postos de trabalho e número de operações de montagem. Este ponto fraco se deve a dificuldade de perceber qual é a sequência da geração de tempos apenas pela ilustração dos códigos de barras visualizados no histórico de tempos de montagem da Aplicação. No entanto, este inconveniente apenas

será significante para uma Fábrica de Aprendizagem que possua na sua infraestrutura uma grande quantidade de objetos.

Assim a Aplicação se adequa as necessidades da FabEGI por permitir agregar conceitos básicos de *Industrie 4.0* e tornar a linha de montagem eficiente. Servindo desta forma como uma ferramenta substituta do processo de cronometragem de tempos de montagem convencional.

O objetivo é que os alunos se sintam motivados com a utilização de uma nova ferramenta para a geração de temos de montagem e consequentemente tornar o ambiente de aprendizagem ativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., Elmaraghy, H., Seliger, G., Sivard, G., Elmaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M., & Seifermann, S. (2017). CIRP Annals - Manufacturing Technology Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *66*(2), 803–826. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.005

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*, *32*(Clf), 1–6. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187

Adam, M., Hofbauer, M., & Mandl, B. (2019). Integration of IT into a Lean Basic Training: Target Group-Specific Insights and Recommendations. *Procedia Manufacturing*, *31*, 52–59. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.009

AlGeddawy, T. (2019). A simplified changeable learning factory design based on a granularity complexity model. *Procedia Manufacturing*, *38*(2019), 654–662. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.084

Andersen, A. L., Brunoe, T. D., & Nielsen, K. (2019). Engineering education in changeable and reconfigurable manufacturing: Using problem-based learning in a learning factory environment. *Procedia CIRP*, *81*, 7–12. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.002

Andr, A., Universidade, F., & E-mail, U. (2020). *METHODS OF STANDARDIZATION , WEIGHTING AND AGGREGATION IN THE FORMATION OF SUSTAINABILITY INDEX MÉTODOS DE NORMALIZAÇÃO , PONDERAÇÃO E AGREGAÇÃO NA FORMAÇÃO*. *11*, 167–187.

Baena, F., Guarin, A., Mora, J., Sauza, J., & Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, *9*, 73–80. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.022

Balamurugan, R., Kirubagharan, R., & Ramesh, C. (2020). Implementation of lean tools and techniques in a connecting rod manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, *33*, 3108–3113. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.702

Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, *23*(2017), 147–152.

https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.008

Briscoe, B., & Watkins, B. (2020). *Barcode Project*. *1*(2), 52–94.

Cachay, J., Wennemer, J., Abele, E., & Tenberg, R. (2012). Study on Action-Oriented Learning with a Learning Factory Approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *55*, 1144–1153. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.608

Cardin, O. (2019). Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework. *Computers in Industry*, *104*, 11–21. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.002

de Negreiros, A. W. F. T. R. W., Rodrigues da Silva, P., Arezes, P. M. F. M., Dangelino, R., & Padula, R. S. (2019). Manufacturing assembly serial and cells layouts impact on rest breaks and workers' health. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *70*(November 2018), 22–27. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.005

Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2018). Industrie 4.0 - Competencies for a modern production system: A curriculum for Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, *23*(2017), 267–272. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.028

Enke, J., Glass, R., & Metternich, J. (2017). Introducing a Maturity Model for Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, *9*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.010

Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, *54*, 13–18. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162

Filipe, W. B., & Americana, F. D. E. T. (2019). *A UTILIZAÇÃO DA GESTÃO DE ESTOQUE COMO*.

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, *210*(January), 15–26. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004

Gento, A. M., Pimentel, C., & Pascual, J. A. (2020). Lean school: an example of industry-university collaboration. *Production Planning and Control*, *0*(0), 1–16. https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1742373

Gouveia, C. (2014). *A utilização dos códigos de barras ao longo da cadeia de abastecimento*

- *estudo de caso da empresa Luís Simões*. http://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/7626

Gräßler, I., Pöhler, A., & Pottebaum, J. (2016). Creation of a Learning Factory for Cyber Physical Production Systems. *Procedia CIRP*, *54*, 107–112. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.063

Hummel, V., Hyra, K., Ranz, F., & Schuhmacher, J. (2015). Competence development for the holistic design of collaborative work systems in the logistics learning factory. *Procedia CIRP*, *32*(Clf), 76–81. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.111

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*, *97*(1), 5–11. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00949.x

Liu, K., Bi, Y., & Liu, D. (2020). Internet of Things based acquisition system of industrial intelligent bar code for smart city applications. *Computer Communications*, *150*(September 2019), 325–333. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.11.044

Martelli, A., Fiilho, A., Guilherme, C., Dourado, F., & Samudio, E. (2020). *Brazilian Applied Science Review*. 468–477. https://doi.org/10.34115/basrv4n2-006

Menn, J. P., Sieckmann, F., Kohl, H., & Seliger, G. (2018). Learning process planning for special machinery assembly. *Procedia Manufacturing*, *23*, 75–80. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.164

Mladineo, M., Veza, I., Gjeldum, N., Crnjac, M., Aljinovic, A., & Basic, A. (2019). Integration and testing of the RFID-enabled Smart Factory concept within the Learning Factory. *Procedia Manufacturing*, *31*, 384–389. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.060

Monteiro, A., & Costa, C. (2015). *Mobile ERP : Otimização do Processo de Inventário em Loja Mobile ERP : Inventory Process Optimization in the Shop*. *Capsi 2015*, 555–566.

Mushfika, S., Islam Chowdhury, A., Zawad, K., Mahee, T., Ahmed, R., & Sakib, N. (2019). *An Approach to Facilitate Business System by Multiple Barcode Detection using Faster RCNN*. *December*. https://doi.org/10.5120/ijais2019451835

Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, *83*, 121–139. https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006

Ogorodnyk, O., Granheim, M., Holtskog, H., & Ogorodnyk, I. (2017). Roller skis assembly line learning factory – development and learning outcomes. *Procedia Manufacturing*, *9*(2351), 121–126. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.045

Orghian, V. (2019). *Impacto Da Rfid No Retalho E Gestão De Stocks Estudo De Caso*. https://run.unl.pt/bitstream/10362/62424/1/TEGI0438.pdf

Pivoto, D. G. S., de Almeida, L. F. F., da Rosa Righi, R., Rodrigues, J. J. P. C., Lugli, A. B., & Alberti, A. M. (2021). Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*(PA), 176–192. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.11.017

Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, *54*, 113–118. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.105

Rei, J. (2010). *RFID Versus Código de Barras da Producao a Distribuicao*.

Sieckmann, F., Petrusch, N., & Kohl, H. (2020). ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Effectivity of Learning Factories to convey problem solving Effectivity of Learning competencies Factories to convey problem solving competencies. *Procedia Manufacturing*, *45*(2019), 228–233. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.099

Stecken, J., Linsinger, M., Sudhoff, M., & Kuhlenkötter, B. (2019). Didactic Concept for Increasing Acceptance of Consistent Data Standards Using the Example of Assistance Systems in Assembly. *Procedia Manufacturing*, *31*, 277–282. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.044

Sudhoff, M., Prinz, C., & Kuhlenkötter, B. (2020). A systematic analysis of learning factories in Germany - Concepts, production processes, didactics. *Procedia Manufacturing*, *45*(2019), 114–120. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.081

Tisch, M., Hertle, C., Abele, E., Metternich, J., & Tenberg, R. (2016). Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *29*(12), 1355–1375. https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1033017

Tisch, M., & Metternich, J. (2017). Potentials and Limits of Learning Factories in Research, Innovation Transfer, Education, and Training. *Procedia Manufacturing*, *9*, 89–96. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.027

Tiwari, P., Sadeghi, J. K., & Eseonu, C. (2020). A sustainable lean production framework

with a case implementation: Practice-based view theory. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123078. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123078

Tu, Y. J., Zhou, W., & Piramuthu, S. (2020). Critical risk considerations in auto-ID security: Barcode vs. RFID. *Decision Support Systems*, *142*(December 2020). https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113471

Tvenge, N., & Ogorodnyk, O. (2018). ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect lack Wernke Development of evaluation tools for learning factories in Development of Society evaluation tools for learning factories in June manufacturing education Costing models capacity optimizati. *Procedia Manufacturing*, *23*, 33–38. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.157

Veza, I., Gjeldum, N., & Mladineo, M. (2015). Lean learning factory at FESB - University of Split. *Procedia CIRP*, *32*(Clf), 132–137. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.223

ANEXO A: DIMENSÃO OPERACIONAL

1.1	operator	academic institution			non-academic institution					profit-oriented operator	
		university	college	BA	vocational school / high school	chamber	union	employ-ers' asso-ciation	indus-trial network	consulting	producing company
1.2	trainer	professor	researcher	student assistant	technical expert / int. specialist	consultant	education-alist				
1.3	develop-ment	own development	external assisted development	external development							
1.4	initial funding	internal funds	public funds	company funds							
1.5	ongoing funding	internal funds	public funds	company funds							
1.6	funding continuity	short term funding (e.g. single events)	mid term funding (projects and programs < 3 years)	long term funding (projects and programs > 3 years)							
1.7	business model for trainings	open models		closed models (training program only for single company)							
		club model	course fees								

ANEXO B: DIMENSÃO DE PROPÓSITO E GRUPO ALVO

2.1	main purpose	education	vocational training	research											
2.2	secondary purpose	test environment / pilot environment	industrial production	innovation transfer	advertisement for production										
2.3	target groups for education & training	pupils	students			employees							entrepreneurs	freelancer	unemployed	open public
			bachelor	master	phd students	apprentices	skilled workers	semi-skilled worker	unskilled	managers					
										lower mgmt	middle mgmt	top mgmt			
2.4	group con-stellation	homogenous	heterogenous (Knowledge level, hierarchy, students+employees, etc.)												
2.5	targeted industries	mechanical & plant eng.	automotive	logistics	transpor-tation	FMCG	aerospace								
		chemical industry	electronics	construction	insurance / banking	textile industry	...								
2.6	subject-rel. learning contents	prod. mgmt & org.	resource efficiency	lean mgmt	auto-mation	CPPS	work system design	HMI	design	Intralogistics design & mgmt	...				
2.7	role of LF for research	research object	research enabler												
2.8	research topics	production management & organization	resource efficiency	lean mgmt.	auto-mation	CPPS	change-ability	HMI	didactics	...					

ANEXO C: DIMENSÃO DE PROCESSO

3.1	product life cycle	product planning	product development	product design	rapid prototyping	manufacturing	assembly	logistics	service	recycling
3.2	factory life cycle	investment planning	factory concept	process planning	ramp-up				main-tenance	recycling
3.3	order life cycle	configuration & order	order sequencing	production planning and scheduling					picking, packaging	shipping
3.4	technology life cycle	planning	development	Virtual testing					main-tenance	moderni-zation
3.5	indirect functions	SCM	sales	purchasing	HR	finance / controlling	QM			
3.6	material flow	continuous production	discrete production							
3.7	process type	mass production	serial production	small series production	one-off production					
3.8	manufact. organization	fixed-site manufacturing	work bench manufacturing	workshop manufacturing	flow production					
3.9	degree of automation	manual	partly automated / hybrid automation	fully automated						
3.10	manufact. methods	cutting	trad. primary shaping	additive manufact.	forming	joining	coating	change material properties		
3.11	manufact. technology	physical	chemical	biological						

ANEXO D: DIMENSÃO DE CONFIGURAÇÃO

4.1	learning environment	purely physical (planning + execution)	physical LF supported by digital factory (see line "IT-Integration")	physical value stream of LF extended virtually	purely virtual (planning + execution)
4.2	environment scale	scaled down	life-size		
4.3	work system levels	work place	work system	factory	network
4.4	enablers for changeability	mobility	modularity	compatibility	scaleability	universality
4.5	changeability dimensions	layout & logistics	product features	product design	technology	product quantities
4.6	IT-integration	IT before SOP (CAD, CAM, simulation)	IT after SOP (PPS, ERP, MES)	IT after production (CRM, PLM...)	

ANEXO E: DIMENSÃO DE PRODUTO

5.1	materiality	material (physical product)	immaterial (service)				
5.2	form of product	general cargo	bulk cargo				
5.3	product origin	own development	development by participants	external development			
5.4	marketability of product	available on the market	available on the market but didactically simplified	functional, could be available on the market	without function/ application, for demonstration only		
5.5	no. of differ-ent products	1 product	2 products	3-4 products	> 4 products	flexible, developed by participants	acceptance of real orders
5.6	no. of variants	1 variant	2-4 variants	4-20 variants	...	flexible, depending on participants	determined by real orders
5.7	no. of components	1 comp.	2-5 comp.	6-20 comp.	21-50 comp.	51-100 comp.	> 100 comp.
5.8	further product use	re-use / re-cycling	exhibition / display	give-away	sale	disposal	

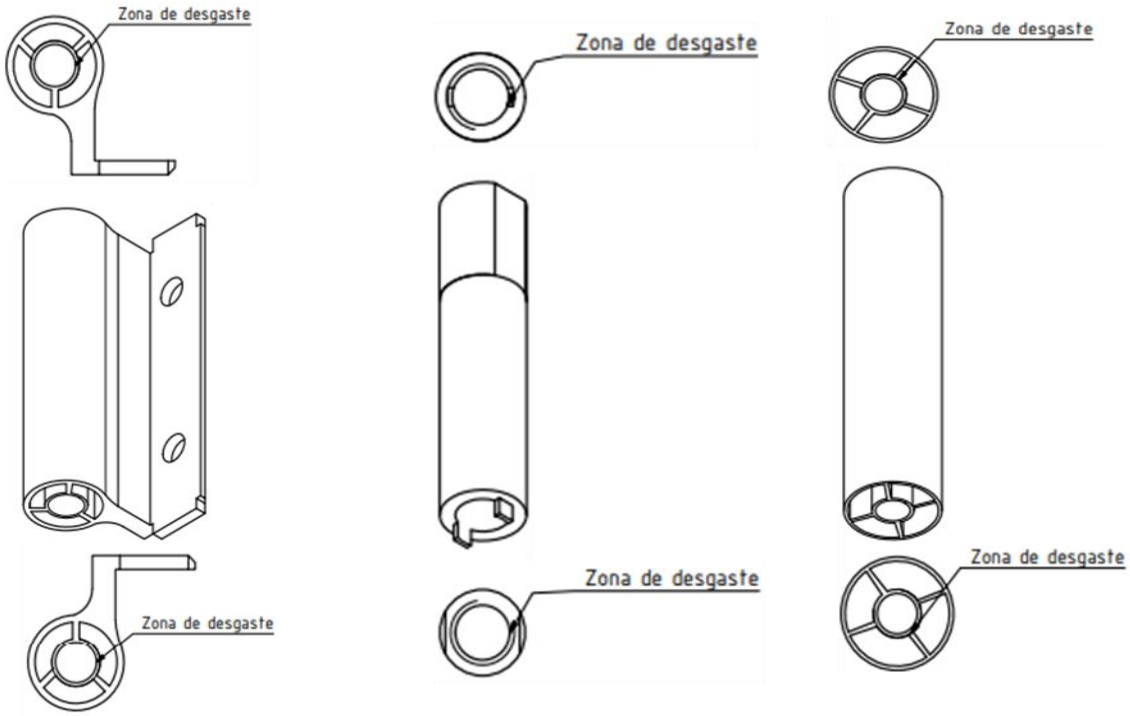
ANEXO F: DIMENSÃO DE DIDÁTICA

6.1	competence classes	technical and methodological compentencies	social & communication competencies	personal competencies	activity and implementation oriented competencies		
6.2	dimensions learn. targets	cognitive	affective	psycho-motorical			
6.3	learn. sce-nario strategy	instruction	demonstration	closed scenario	open scenario		
6.4	type of learn. environment	greenfield (development of factory environment)	brownfield (improvement of existing factory environment)				
6.5	communica-tion channel	onsite learning (in the factory environment)	remote connection (to the factory environment)				
6.6	degree of autonomy	instructed	self-guided/ self-regulated	self-determined/ Self-organized			
6.7	role of the trainer	presenter	moderator	coach	instructor		
6.8	type of training	tutorial	practical lab course	seminar	workshop	project work	
6.9	standardi-zation of trainings	standardized trainings	customized trainings				
6.10	theoretical foundation	prerequisite	in advance (en bloc)	alternating with practical parts	based on demand	afterwards	
6.11	evaluation levels	feedback of participants	learning of participants	transfer to the real factory	economic impact of trainings	return on trainings / ROI	
6.12	learning success evaluation	knowledge test (written)	knowledge test (oral)	written report	oral presentation	practical exam	none

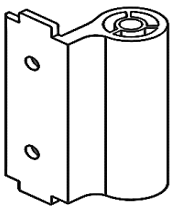
ANEXO G: MÉTRICAS

7.1	no. of participants per training	1-5 participants	5-10 participants	10-15 participants	15-30 participants	>30 participants	
7.2	no. of standardized trainings	1 training	2-4 trainings	5-10 trainings	> 10 trainings		
7.3	aver. duration of a single training	< 1 day	1-2 days	3-5 days	5-10 days	10-20 days	> 20 days
7.4	participants per year	< 50 participants	50-200 participants	201-500 participants	501-1000 participants	> 1000 participants	
7.5	capacity utilization	< 10%	10 – 20%	21 – 50 %	51 – 75 %	76 – 100 %	
7.6	size of LF	< 100 sqm	100 – 300 sqm	300-500 sqm	500-1000 sqm	> 1000 sqm	
7.7	FTE in LF	< 1	2-4	5-9	10-15	> 15	

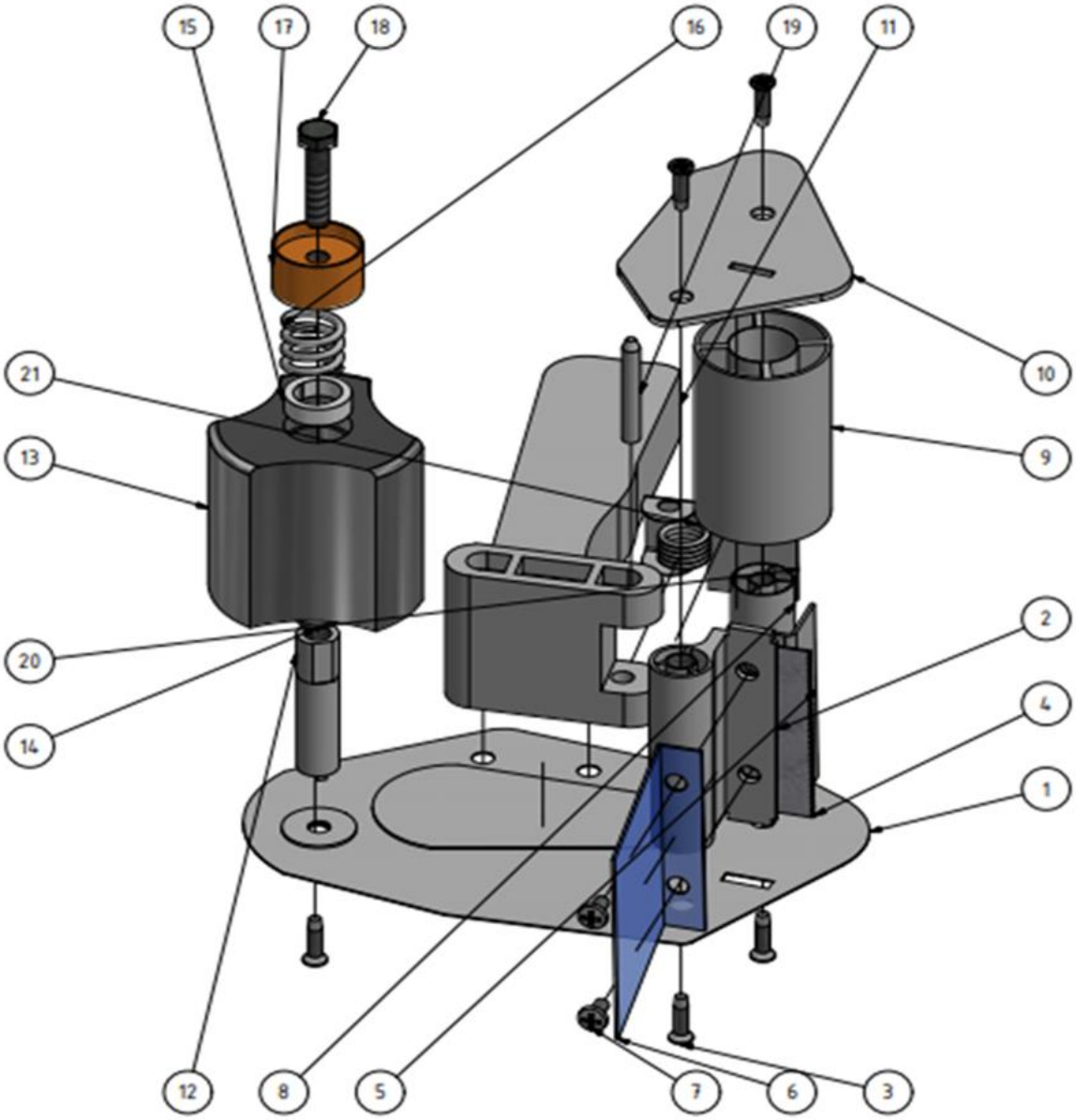
APÊNDICE A: COMPONENTES A FABRICAR E AS ZONAS DE DESGASTES



APÊNDICE B: TEMPOS DE IMPRESSÃO 3D DOS COMPONENTES

Duração de Impressão de cada pino			
Designação	**Pino de Montagem**	**Pino**	**Pino de Suporte**
Desenho 3D			
Diâmetro de filamento	0,10mm	0,10mm	0,10mm
Cumprimento	1,90m	1,44m	1,30m
Tempo de Impressão	3h44min	1h45min	52min

APÊNDICE C: VISTA EXPLODIDA DO DESENHO DO PRODUTO TESTADO



APÊNDICE D: AMOSTRAS DE MEDIÇÃO DOS TEMPOS DE MONTAGEM

Operações/tempo(s)	1	2	3	4	5	Média
A	11	9	9	5	4	9
B	7	7	6	5	4	5,8
C	8	6	7	7	6	6,8
D	3	4	2	2	2	2,6
E	3	3	2	2	2	2,4
F	3	3	3	2	2	2,6
G	8	10	10	10	9	9,4
H	11	11	10	10	10	10,4
I	10	12	10	8	8	9,6
J	12	10	11	10	10	10,6
K	10	10	10	9	9	9,6
L	10	14	13	9	9	11
M	8	8	8	6	6	7,2
N	10	8	6	6	5	7
O	8	9	10	9	8	8,8
P	8	8	6	7	6	7
Q	9	9	9	9	9	9
R	9	10	11	9	9	9,6
S	13	11	9	8	8	9,8
T	9	9	9	8	7	8,4
U	4	4	2	2	2	2,8
V	6	6	7	6	5	6
W	10	9	9	8	8	8,8
X	13	11	11	10	9	10,8
Total						**185**

APÊNDICE E: HEURÍSTICA DOS PESOS PESADOS

Operações	Duração (seg.)	Prec.	Peso Pos.
A. Em relação ao Suporte da fita: Fixar a extremidade inferior do pino à placa de base	9	-	42,4
B. Apertar com a chave a extremidade inferior do pino à placa de base	5,8	A	33,4
C. Montar o encaixe no transportador	6,8	-	33,4
D. Montar o transportador rotativamente no pino	2,6	B, C	27,6
E. Encaixar a anilha entre a extremidade superior livre do pino e o transportador	2,4	B, D	25
F. Encaixar a mola na extremidade superior da anilha	2,6	E	22,6
G. Roscar o parafuso posicionador na rolha	9,4	-	29,4
H. Apertar manualmente o parafuso posicionador e rolha na extremidade livre do pino exercendo uma pressão entre o transportador e a placa de base	10,4	B, D, E, F, G	20
I. Ajustar com chave o parafuso posicionador e rolha na extremidade livre do pino exercendo uma pressão entre o transportador e a placa de base	9,6	H	9,6
J. Em relação ao Conjunto de corte: Unir com parafusos ao pino de montagem a placa de pressão, lâmina e placa de empurrar vertical em simultâneo	10,6	-	58
K. Apertar com a chave os parafusos no pino de montagem em simultâneo à placa de pressão, lâmina e placa de empurrar vertical	9,6	J	47,4
L. Fixar a extremidade inferior do pino de montagem na placa de base manualmente	11	K	37,8
M. Apertar com a chave extremidade inferior do pino de montagem na placa de base	7,2	L	26,8

N. Em relação à Pega: Fixar a pega à placa de base com parafusos manualmente	7	-	69,8
O. Apertar com a chave a pega à placa de base	8,8	N	62,8
P. Encaixar a placa retenção	7	O	54
Q. Encaixar a mola de torção entre a placa de retenção e a pega	9	P	47
R. Encaixar o pino na abertura superior da pega e em simultâneo na mola e na placa de retenção	9,6	O, P, Q	38
S. Em relação ao Rolo de aplicação de fita: Fixar rotativamente a extremidade inferior do pino de suporte à placa de base	9,8	-	43,8
T. Apertar com a chave a extremidade inferior do pino de suporte à placa de base	8,4	S	34
U. Tensionar a placa de retenção	2,8	O, P, Q, R	28,4
V. Montar o rolo de aplicação de fita acima do pino de suporte	6	T, U	25,6
W. Em relação ao Conjunto de corte e ao Rolo de aplicação de fita: Fixar a placa de posicionamento na extremidade livre do pino de montagem e fixar simultaneamente a outra extremidade livre do rolo	8,8	M, V	19,6
X. Apertar com a chave a placa de posicionamento na extremidade livre do pino de montagem e apertar simultaneamente a outra extremidade livre do rolo	10,8	W	10,8

APÊNDICE F: PLANILHA *BILL OF MATERIALS*

Componente	Código	Nº do Componente	Designação	Ilustração

APÊNDICE G: PLANILHA PARA OPERAÇÕES DE MONTAGEM E PRECEDÊNCIAS

Operações	Precedências
A.	
B.	
C.	
D.	
E.	
F.	
G.	
H.	
I.	
J.	
K.	
L.	
M.	
N.	
O.	
P.	
Q.	
R.	
S.	
T.	
U.	
V.	
W.	
X.	