

MARCOS OLIVEIRA GUIMARÃES

**Fábrica do Futuro POLI - Implementação de uma fábrica de ensino voltada para a
Indústria 4.0**

São Paulo

2017

MARCOS OLIVEIRA GUIMARÃES

**Fábrica do Futuro POLI - Implementação de uma fábrica de ensino voltada para a
Indústria 4.0**

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do diploma de Engenheiro de
Produção

São Paulo

2017

MARCOS OLIVEIRA GUIMARÃES

**Fábrica do Futuro POLI - Implementação de uma fábrica de ensino voltada para a
Indústria 4.0**

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do diploma de Engenheiro de
Produção

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul

São Paulo

2017

Catálogo-na-publicação

Guimarães, Marcos Oliveira

Fábrica do Futuro POLI - Implementação de uma fábrica de ensino voltada para a Indústria 4.0 / M. O. Guimarães -- São Paulo, 2017.
135 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Indústria 4.0 2. Fábrica de Ensino I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à minha família, pela força, instrução e pelo voto de confiança. Meus pais abriram mão de muita coisa e colocaram muito esforço para eu tivesse a oportunidade de chegar aqui. Meu irmão, por sempre me acompanhar e me entender, faz parte constante do meu desenvolvimento e conquistas.

À Cris e ao Osni, pessoas que foram fundamentais para o meu crescimento e indispensáveis para a Escola Politécnica, verdadeiros heróis sem capa.

Ao Prof. Dr. Eduardo Zancul, pela confiança e suporte em desenvolver algo que ficasse de legado para a Escola, é realmente um professor exemplo na Universidade.

Ao Mestre Luiz Durão, pelo acompanhamento e conselhos durante o desenvolvimento do trabalho, uma pessoa extremamente prestativa e competente.

Ao Centro Acadêmico da Engenharia de Produção, por tudo que passei lá e por fazer toda a experiência na Poli mais interessante e divertida.

RESUMO

A quarta e mais recente revolução industrial, a chamada Indústria 4.0, vem ganhando força e relevância na indústria, de forma que novos conceitos de manufatura e novas tecnologias estão surgindo e se estabelecendo no ambiente fabril. Esse movimento pede por novas competências dos envolvidos com fábricas, para que consigam interagir e gerir esse novo cenário. Uma solução eficaz para a preparação desses usuários para a interação com novas tecnologias é uma fábrica cujo de didático e que seja então voltada para a aprendizagem. Essas são as chamadas fábricas de ensino. Esse trabalho tem como foco a implementação da versão *beta* de uma fábrica de ensino na Universidade de São Paulo, batizada de Fábrica do Futuro POLI. Essa fábrica conta com demonstradores de algumas das tecnologias da Indústria 4.0, trazendo o foco da aprendizagem para eles. O objetivo da implementação dessa fábrica de ensino é, portanto, englobar tecnologias e demonstradores da Indústria 4.0 de forma que alunos e interessados externos à USP possam ter um primeiro contato com essa revolução. Assim, estes podem estar melhor preparados para lidar com ela e com todos os novos desafios que a acompanham em um ambiente de fábrica real.

Palavras-Chave: Fábrica do Futuro POLI. Fábrica de ensino. Indústria 4.0. Demonstradores de tecnologia.

ABSTRACT

The fourth and most recent industrial revolution, the so called Industry 4.0, keeps gaining strength and relevance within the industry, in ways new manufacturing concepts and technologies arise and establish themselves in the manufacturing environment. This movement claims for new competencies from individuals related to the plant, so they are able to interact and manage this new scenario. One effective solution for their preparation and training in interacting with these technologies is a manufacturing unit whose main goal is teaching and so the learning of those who visit it. These units are known as learning factories. This paper's focus is the implementation of a beta version of a learning factory at University of São Paulo, named Fábrica do Futuro POLI. This learning factory would count with the representation of some technologies that compose the Industry 4.0, aiming the learning towards them. Thus, the goal of this learning factory's implementation is to gather technologies from Industry 4.0 and put students and interested individuals in touch with them, so they can get a first contact with this industrial revolution. That way, they will be better prepared in a real factory to deal with this new technological environment and all the challenges that come with it.

Keywords: Fábrica do Futuro POLI. Learning Factories. Industry 4.0.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Histórico de revoluções industriais pela história.....	20
Figura 2 - Mudanças na fábrica levam a mudanças na interação entre máquinas e homem.....	22
Figura 3 - Objetos na fábrica podem ser automaticamente identificados.....	24
Figura 4 - Linha de produção com identificação por RFID	25
Figura 5 - Exemplo de data matrix	27
Figura 6 - Imagem de um QR Code	28
Figura 7 - Ilustração de camadas de uma peça, maneira como a manufatura aditiva opera.....	33
Figura 8 - Ciclo simplificado de uma pesquisa-ação.....	41
Figura 9 - Relação de dependência entre etapas do projeto	45
Figura 10 - Gráfico de Gantt mostrando o planejamento do projeto.....	45
Figura 11 - Planta do prédio em que a Fábrica do Futuro será implementada.....	54
Figura 12 - Foco da área destinada para a versão final da Fábrica do Futuro	54
Figura 13 - Relação entre fábrica na Alemanha e fábrica no Brasil.....	55
Figura 14 - Modelo de bancada sugerido para a Fábrica do Futuro	58
Figura 15 - 9 dimensões da Indústria 4.0 definidas pela consultoria The Boston Consulting Group.....	60
Figura 16 - Grandes áreas que compõe a Indústria 4.0	61
Figura 17- <i>Layout</i> da versão beta da Fábrica do Futuro POLI	87
Figura 18 - Espaço destinado para a versão <i>beta</i> da Fábrica do Futuro POLI	88
Figura 19 - "Skatinho" e <i>long board</i> montado	89
Figura 20 - <i>Mini cruiser</i> montado	90
Figura 21 - Recipientes usados para armazenagem das peças.....	91
Figura 22 - Receptores de sinais da DEV usados no 1º demonstrador.....	92
Figura 23 - Simulação de um skate com um DEV beacon acoplado	92
Figura 24 - Interface que indica a posição dos beacons	93
Figura 25 - Componentes que compõe o 1º demonstrador.....	94
Figura 26 - Interface do operador	95
Figura 27 - Interface do cliente.....	95
Figura 28 - Foto na interface do operador	96
Figura 29 - Fotos na interface do cliente	97
Figura 30 - Sistema para identificação das peças: peça com <i>QR Code</i> único e leitor.....	98
Figura 31 - Impressora 3D e sistema de sensores, componentes do 3º demonstrador da Fábrica do Futuro	99
Figura 32 - Imagem da tela do computador de aluno na Alemanha, evidenciando controle remoto.....	100
Figura 33 - Demonstrador montado pela Mvisia.....	101
Figura 34 - Visão interna da estrutura do demonstrador	102
Figura 35 - Bancadas com estrutura de estantes superiores e inferiores, computadores e leitores de <i>QR Code</i>	103
Figura 36 - Estantes laterais.....	103
Figura 37 - Disposição dos componentes juntos	104
Figura 38 - Versão beta da Fábrica do Futuro POLI com os demonstradores e outros componentes instalados	105
Figura 39 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 1/12	118
Figura 40 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 2/12	119
Figura 41 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 3/12	120
Figura 42 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 4/12	121
Figura 43 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 5/12	122

Figura 44 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 6/12.....	123
Figura 45 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 7/12.....	124
Figura 46 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 8/12.....	125
Figura 47 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 9/12.....	126
Figura 48 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 10/12.....	127
Figura 49 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 11/12.....	128
Figura 50 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 12/12.....	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenças entre QR Code e Data Matrix	29
Quadro 2 - Resumo de etapas do trabalho	43
Quadro 3 - Lista de entregáveis	51
Quadro 4 - Tecnologias definidas da Indústria 4.0.....	61
Quadro 5 - Peças que irão compor o produto final.....	72
Quadro 6 - Tecnologias fornecidas pela DEV Tecnologia.....	75
Quadro 7 - Tecnologias fornecidas pela Mvisia.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela com materiais levantados em trabalho de Yen Cheng	56
Tabela 2 - Contagem de aparições de tecnologias e ranqueamento das mais recorrentes	66
Tabela 3 - Fábricas de ensino e tecnologias que demonstram. Parte 1/2.....	68
Tabela 4 - Fábricas de ensino e tecnologias que demonstram. Parte 2/2.....	68
Tabela 5 - Especificidades da impressora 3D.	79
Tabela 6 - Outros recursos levantados que poderiam integrar algum demonstrador.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMT – Advanced Manufacturing Technologies
CAD - Computer-Aided System
CPPS – Cyber-Physical Production System
CPS – Cyber-Physical System
DM – Data Matrix
FDM - Fused Deposition Modeling
GPS – Global Position System
HolMS - Holonic Management System
iGPS – Indoor Global Position System
IoT – Internet of Things
KPI - Key Performance Indicator
LBM - Laser Beam Melting
LBT - Laser Beam Technology
MES - Manufacturing Execution System
NFC – Near Field Communication
PCP - Planejamento e Controle da Produção
QRC – QR Code
RFID – Radio Frequency Identification
SLM - Selective Laser Melting
SLS - Selective Laser Sintering

Sumário

1	Introdução.....	15
1.1	Contexto.....	15
1.2	Motivações do trabalho.....	16
1.3	Objetivos do trabalho.....	17
1.4	Estrutura do trabalho.....	17
2	Revisão Bibliográfica.....	19
2.1	Indústria 4.0.....	19
2.1.1	Tecnologias viabilizadoras da Indústria 4.0.....	21
2.2	Manufatura Avançada.....	29
2.2.1	Manufatura Distribuída.....	31
2.2.2	Manufatura Aditiva.....	32
2.3	Fábrica de ensino.....	34
2.4	<i>Layout</i>	36
3	Metodologia.....	41
3.1	Planejamento do projeto.....	44
3.2	Aprofundamento Teórico.....	46
3.3	Entendimento e entrada no projeto principal.....	47
3.4	Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações.....	48
3.5	Definição de componentes e características da fábrica.....	49
3.6	Implementação.....	51
4	Condução do Projeto.....	53
4.1	Entendimento e entrada no projeto principal.....	53
4.2	Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações.....	58
4.2.1	Tecnologias.....	59
4.2.2	Materiais.....	69
4.2.3	Limitações.....	70
4.3	Definição de características da fábrica.....	71
4.3.1	Definição do local da Fábrica.....	71
4.3.2	Definição do conceito da Fábrica do Futuro.....	71
4.3.3	Definição das tecnologias e demonstradores.....	73
4.3.4	Definição de outros materiais.....	85
4.3.5	Definição de <i>layout</i>	86
4.4	Implementação.....	87
4.4.1	Local da Fábrica.....	88
4.4.2	Compra de materiais.....	89

4.4.3	Demonstradores	91
4.4.4	Montagem da Fábrica.....	102
5	Conclusão	107
5.1	Condução do trabalho.....	107
5.2	Aprendizados.....	108
5.3	Próximos passos	108
6	Bibliografia.....	111
7	Apêndice	117

1 Introdução

1.1 Contexto

Em um cenário de digitalização crescente no ambiente industrial, tecnologias fortemente conectadas pela internet e tecnologias avançadas traduzidas em objetos inteligentes ganham espaço. Isso caracteriza uma nova revolução industrial, batizada de Indústria 4.0 (LASI et al., 2014).

De acordo com Lasi et al. (2014), esse cenário leva a uma percepção de como será a produção do futuro – contará com sistemas de manufatura que serão modulares e bastante eficientes – e que já mostra sinais de adaptação hoje. Esses sistemas permitem que produtos controlem seu próprio processo de manufatura. Com isso, é possível a produção individualizada, ou seja, de lotes únicos, mantendo ainda condições econômicas para a produção em massa.

Porém, segundo Rüßmann et al. (2015), essas mudanças tecnológicas e de manufatura pedirão por novas e diferentes habilidades dos empregados que trabalharão nesse novo ambiente fabril.

Uma alternativa para a preparação dos atuais e futuros empregados que estarão em contato com essa nova realidade que está se consolidando é um ambiente onde essas pessoas podem interagir com a nova dinâmica e as novas tecnologias que ela traz. Um conceito de fábrica que é voltado para o aprendizado dos seus usuários é a fábrica de ensino (ABELE et al., 2015)

Dessa forma, a montagem de uma fábrica de ensino que trouxesse conceitos da Indústria 4.0 é uma solução muito eficaz para a introdução de interessados à novas tendências que virão com essa nova revolução industrial. Ainda, é uma solução capaz de prepará-los para lidar com um novo tipo de interação entre o ser humano e o novo ambiente fabril.

1.2 Motivações do trabalho

Tendo a Escola Politécnica um papel de liderança quando se fala sobre pesquisa no Brasil, como coloca o seu próprio site (2017), é importante que ela consiga promover discussões sobre tendências e mudanças que estão para acontecer no ambiente de engenharia. Considerando esse contexto de revolução industrial mencionado na seção 1.1 que a indústria está passando, pode ser interessante para a Escola Politécnica ter um pólo que concentre estudos sobre o assunto. Por isso, este trabalho de formatura teve como grande motivação o interesse por se ter uma maior discussão do tema Indústria 4.0 dentro não só da Escola Politécnica, mas da USP, visto a grande relevância que ele vem ganhando. Ter um espaço dentro da universidade que proponha um contato próximo com conceitos da Indústria 4.0 surgiu como uma alternativa interessante.

Além disso, outras duas grandes motivações internas ao autor para que esse trabalho fosse feito são: um interesse do autor pelo tema Indústria 4.0 e as mudanças que ele carrega; e um desejo do autor por deixar um legado para a Escola Politécnica da USP, depois de tudo que esta o proporcionou.

Esse interesse surgiu quando o autor iniciou um programa de estágio em uma consultoria estratégica. Lá, viu a dedicação colocada em cima do tema por uma empresa global, chamando a atenção para a relevância do assunto. A partir daí, soube dos esforços do Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul na área e o procurou.

A segunda grande motivação do autor para o desenvolvimento da Fábrica do Futuro foi um sentimento por retornar à Universidade de São Paulo o investimento feito nele. Para isso, o autor queria desenvolver um trabalho que trouxesse algum benefício ou legado para a instituição, e, com isso em mente, procurou outra vez o Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul. Foi então que o professor introduziu ao autor o projeto da Fábrica do Futuro, que se interessou por montá-lo.

1.3 Objetivos do trabalho

O objetivo desse trabalho é implantar uma versão da Fábrica do Futuro na USP. Por implantar, entende-se montar uma fábrica de ensino que traz conceitos e demonstradores de tecnologias da Indústria 4.0, de forma a permitir aos alunos e outros interessados um maior contato com o tema, a vivência e a aprendizagem com os novos desafios que acompanham essa revolução industrial.

1.4 Estrutura do trabalho

Esse trabalho foi estruturado em 5 diferentes capítulos, sendo eles: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Condução do Projeto e Conclusão.

O primeiro deles, a Introdução – o presente capítulo – apresenta o contexto no qual esse trabalho foi realizado, quais foram as motivações para sua realização, assim como seus objetivos e também a maneira em que foi estruturado.

O segundo capítulo, que engloba a Revisão Bibliográfica, faz um aprofundamento nos temas mais relevantes para a realização do trabalho, como por exemplo Indústria 4.0 e Manufatura Avançada, de forma que fosse dado o embasamento teórico necessário para a condução dele.

Já o terceiro capítulo, nomeado de Metodologia, é o responsável por apresentar e detalhar qual foi a metodologia usada para a condução desse trabalho de formatura. Logo, ele coloca que a metodologia empregada foi a de pesquisa-ação, e que o trabalho foi dividido em 6 diferentes fases:

- Planejamento do trabalho;
- Aprofundamento Teórico;
- Entendimento e Entrada no Projeto Principal da Fábrica do Futuro;

- Levantamento de Tecnologias e Materiais que poderiam incorporar a Fábrica, como também de possíveis limitações que iriam permear a implementação dela;
- Definição das características da Fábrica do Futuro;
- E Implementação do que foi planejado e definido.

O quarto capítulo, de Condução do Projeto, traz a condução do planejamento exposto no capítulo anterior, o terceiro. Ele expõe os resultados das fases de Entendimento e Entrada no Projeto Principal; Levantamento de Tecnologias, Materiais e Limitações; Definição das características da Fábrica do Futuro POLI; e Implementação. O grande resultado do trabalho, que é a implementação da fábrica, é exposto na última fase, com fotos do local e dos seus componentes. Os resultados das fases de Planejamento e de Aprofundamento Teórico são mostrados nos capítulos 3 e 2, respectivamente.

O quinto capítulo traz a Conclusão do trabalho, expondo quais foram os principais aprendizados da montagem da versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI, assim como próximos passos para que a versão final da fábrica seja implementada.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Indústria 4.0

Segundo Rüßmann et al. (2015), avanços tecnológicos foram alavancas para aumentos impressionantes em termos de produtividade na indústria desde a Primeira Revolução Industrial. O motor a vapor impulsionou fábricas no século 19, a eletricidade levou à produção em massa no começo do século 20 e a indústria começou a se automatizar nos anos 70. Desde essa última revolução industrial, conhecida como Terceira Revolução Industrial, não houve avanços tecnológicos disruptivos que ditassem uma nova dinâmica na indústria até recentemente.

Identificado na Alemanha, uma nova plataforma composta por um novo conjunto de avanços e mudanças na indústria começou a ganhar expressão e está sendo visto como a mais nova revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0 – ou *Industrie 4.0*, em alemão.

De acordo com Brettel (2014) apud Silva (2015), a Indústria 4.0 surgiu como uma resposta de empresas alemãs à crescente competitividade em nível global em qualidade de produto e custo de produção. Tais empresas alemãs reconheceram que os consumidores não estavam dispostos a pagar preços mais altos por melhorias incrementais de qualidade nos produtos, e passaram a ajustar a produção focando em produtos customizados e em respostas rápidas ao mercado.

Ainda segundo Brettel (2014) apud Silva (2015), esses ajustes à produção levaram as empresas alemãs de manufatura a se tornarem redes integradas, tendo suas principais competências unificadas e contando também com um compartilhamento de informações em tempo real entre todos os elos da cadeia produtiva.

Essas últimas mudanças e ajustes na indústria que deram início à Indústria 4.0 são traduzidos em novas tecnologias digitais, que, por sua vez, trouxeram e possibilitaram um novo cenário de comunicação e conexão no ecossistema de produção. Esse novo cenário conta com uma comunicação e conexão muito mais intensos na interface pessoa-máquina e também na interface máquina-máquina, nos chamados *Cyber-physical Production Systems* (ambiente de produção que conta com um contato mais íntimo entre o mundo físico e o

digital), fator esse que será abordado com mais profundidade a seguir, na seção 2.1.1.1. Esses avanços possibilitam sistemas produtivos extremamente independentes compostos por várias células e máquinas altamente conectadas.

De uma maneira geral e mais generalista, pode-se colocar que a transformação que virá com a Indústria 4.0 será justamente esse ambiente altamente conectado através do meio digital, mas que também irá contar com a interação física entre seus componentes. Assim, é possível ter uma melhor visão dos saltos tecnológicos que cada revolução industrial deixou e ainda irá deixar na indústria com a figura 1:

Figura 1 - Histórico de revoluções industriais pela história.



Fonte: adaptado de <http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2016/04/nova-era-industrial-transformara-productividade-global/> acessado em 24/09/2017

Esse ambiente altamente conectado e com uma interação diferente entre o espaço digital e o físico será melhor detalhado na próxima sessão, número 2.1.1, seção em que será abordado com mais detalhe algumas tecnologias que viabilizam esse novo cenário.

2.1.1 Tecnologias viabilizadoras da Indústria 4.0

Como colocado na seção anterior, 2.1, essa nova revolução industrial, Indústria 4.0, está trazendo novos ares para a indústria considerando a intensa conexão entre máquinas e a independência delas para operar. Nas seções seguintes serão detalhadas algumas das tecnologias que hoje possibilitam as mudanças que já começam a aparecer na indústria e, portanto, comandam a transição de um cenário menos conectado e automatizado para um cenário completamente novo na indústria de manufatura. Essas tecnologias também serão base para futuras mudanças e futuras tecnologias que farão parte dessa nova realidade que a Indústria 4.0 irá proporcionar.

2.1.1.1 CPPS

De acordo com o exposto por L. Esterle e R. Grosu (2016) e por Schlaepfer e Koch (2015), pode-se inferir que uma das mudanças que pode ser introduzida pela Indústria 4.0 e um dos legados que ela pode deixar é a transformação do ambiente produtivo em um *Cyberphysical Production System*, ou CPPS - ambiente onde existe uma interação mais intensa entre o mundo físico e o digital e uma relação diferente entre homem-máquina e máquina-máquina, conectados por meio de um sistema de sensores e atuadores.

Esse novo ambiente de produção é formado por módulos menores que por si só já apresentam uma interface entre o digital e o físico, os chamados *Cyber-physical Systems*.

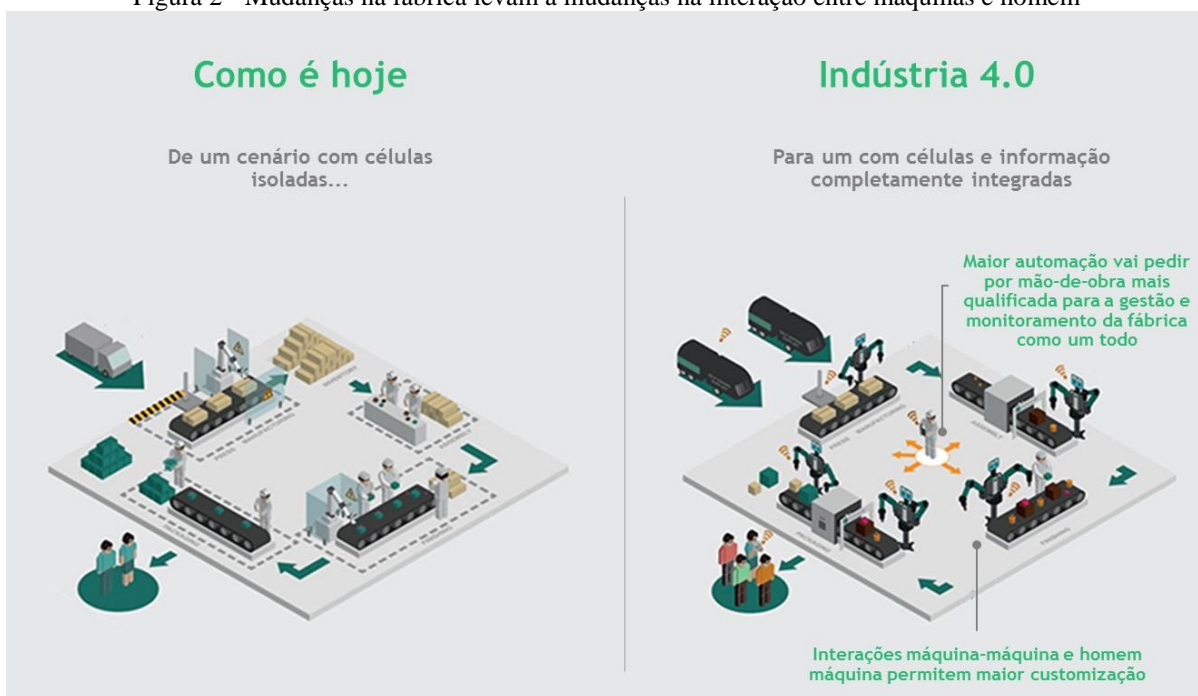
O conceito de *Cyber-physical Systems*, ou CPS, segundo Esterle e Grosu (2016), tem origem no início dos anos 80, com o desenvolvimento de micro-controladores e o surgimento de sistemas embutidos. Porém, estes raramente interagem com o mundo físico. Foi somente no final dos anos 2000 que os sistemas computacionais começaram a interagir e controlar o ambiente físico.

De acordo com Esterle e Grosu (2016), CPS são sistemas embutidos distribuídos no espaço, sensíveis ao tempo e com a capacidade de medir diferentes variáveis de diferentes escalas. Além disso, esse sistema conecta o mundo físico ao mundo cibernético através de sensores e atuadores.

O conceito de CPS, quando aplicado em máquinas inteligentes, em recursos de produção, em sistemas de estoque e em estruturas de produção, cria um *Cyber-Physical Production System*, ou CPPS, acessado e controlado via uma interface de computador, (KLEINHEMPEL, SATZER E STEINBERGER, 2015). Esses componentes trocam informação e controlam tarefas automaticamente de uma maneira cooperativa, tendo como objetivo a otimização dos processos, como observou a *newsletter* E-nnovation Germany (2015) apud Aguiar et al. (2015). Fábricas inteligentes contarão com produtos identificados individualmente e que conseguirão passar seu histórico no processo produtivo para as máquinas, assim como seu status e próximos passos do processo que ainda têm que passar. Todos os dados capturados pelos sensores podem ser analisados e interpretados com o intuito de se tornarem dados inteligentes e serem usados para previsões de dados futuros, otimização de processos e controle da produção. (AGUIAR et al., 2015)

A figura 2 retrata como essa interação máquina-máquina vai mudar com a Indústria 4.0, assim como o relacionamento entre homem-máquina.

Figura 2 - Mudanças na fábrica levam a mudanças na interação entre máquinas e homem



Fonte: adaptado de Rüßmann et. al (2015)

Como já colocado, o novo conceito de fábrica que virá junto com a Indústria 4.0 afeta as interações entre células da fábrica, entre diferentes máquinas e entre homem e máquina. Esse novo cenário vai mudar o perfil da mão de obra, antes responsável por tarefas mais

repetitivas e manuais e agora tendo que ser mais qualificada para desenvolvimento e gestão de softwares, por exemplo (RÜßMANN et al., 2015).

2.1.1.2 Internet das coisas

Um dos fatores que viabiliza a conectividade e interação automatizada entre máquinas, e, portanto, o conceito e ideia de *Cyber-physical Production Systems* é a Internet das Coisas.

Segundo Miorandi apud Silva (2015), o termo Internet das Coisas (*Internet-of-Things - IoT*) refere-se (i) à rede global que conecta objetos através de tecnologias de internet; (ii) ao conjunto de tecnologias necessárias para criar essa interface (incluindo, por exemplo, RFIDs, sensores e atuadores, máquina à máquina, aparelhos de comunicação etc.); e (iii) ao conjunto de aplicações e serviços que permitem que essas tecnologias abram novos negócios e oportunidades de mercado.

Dessa forma, a internet se coloca como fundamental para que a Indústria 4.0 se torne uma realidade, visto que ela é o ponto de união entre todas as partes envolvidas.

Além disso, essas novas tecnologias que estão ganhando espaço também merecem atenção especial, dado o investimento que é necessário para que elas continuem surgindo e dado o quão fundamentais são para viabilizar um ambiente mais conectado.

2.1.1.3 RFID

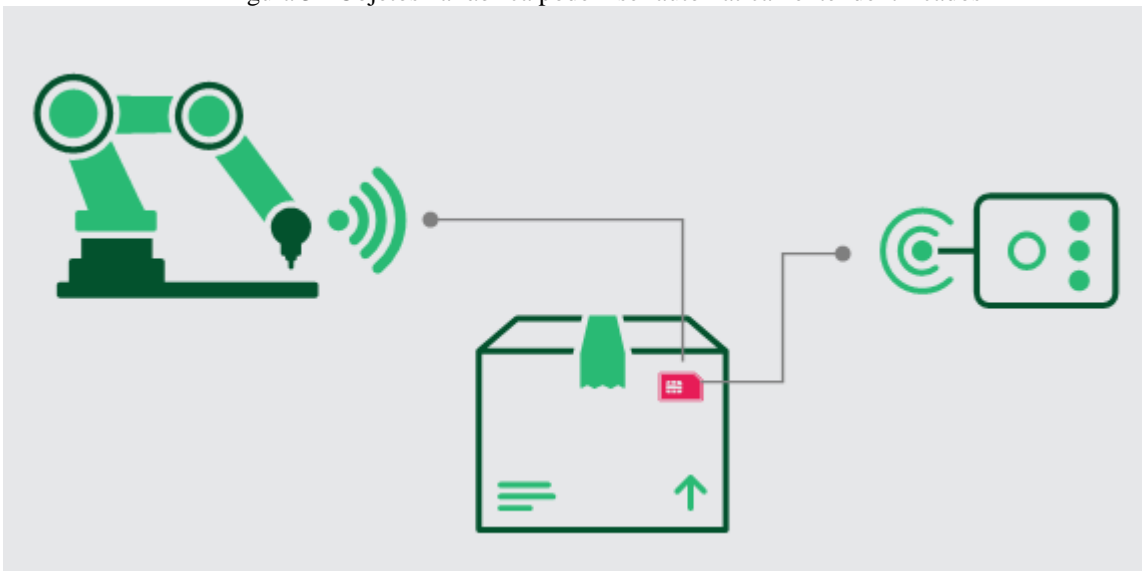
A identificação de rádio frequência – RFID (*Radio Frequency Identification*) - é uma tecnologia que, assim como a Indústria 4.0, vem ganhando seu espaço e também promete impactar a economia e diferentes indústrias em um futuro próximo (Weis, 2006).

Como colocou Weis (2006), apesar de apresentar esse crescimento nesses últimos tempos e assim levar muitos a acreditar que fosse uma tecnologia nova proveniente da tendência introduzida pela Indústria 4.0, o RFID é uma tecnologia já não tão nova. Entretanto, avanços no setor de tecnologia de produção de chips vêm fazendo com que o RFID fique cada vez mais prático e útil para novas aplicações, em particular na área de identificação individual

de itens de bens de consumo. Esses avanços trazem consigo um grande potencial para revolucionar e realmente mudar a gestão de cadeias de suprimento, controle de estoque e, de maneira geral, a logística. (WEIS, 2006)

Segundo Weis (2006), de modo geral, RFIDs podem ser definidos como transponders, ou mesmo *tags*, que estão acoplados a algum determinado objeto físico. Esses *tags*, quando interrogados – ou identificados - de modo *wireless* por um transceptor ou leitor, fornecem informações sobre identificação que estão armazenadas neles. Dessa forma, RFIDs viabilizam sistemas de identificação automática, dado que eles permitem a identificação automática de objetos dentro de determinado ambiente, como se pode ver na figura 3.

Figura 3 - Objetos na fábrica podem ser automaticamente identificados



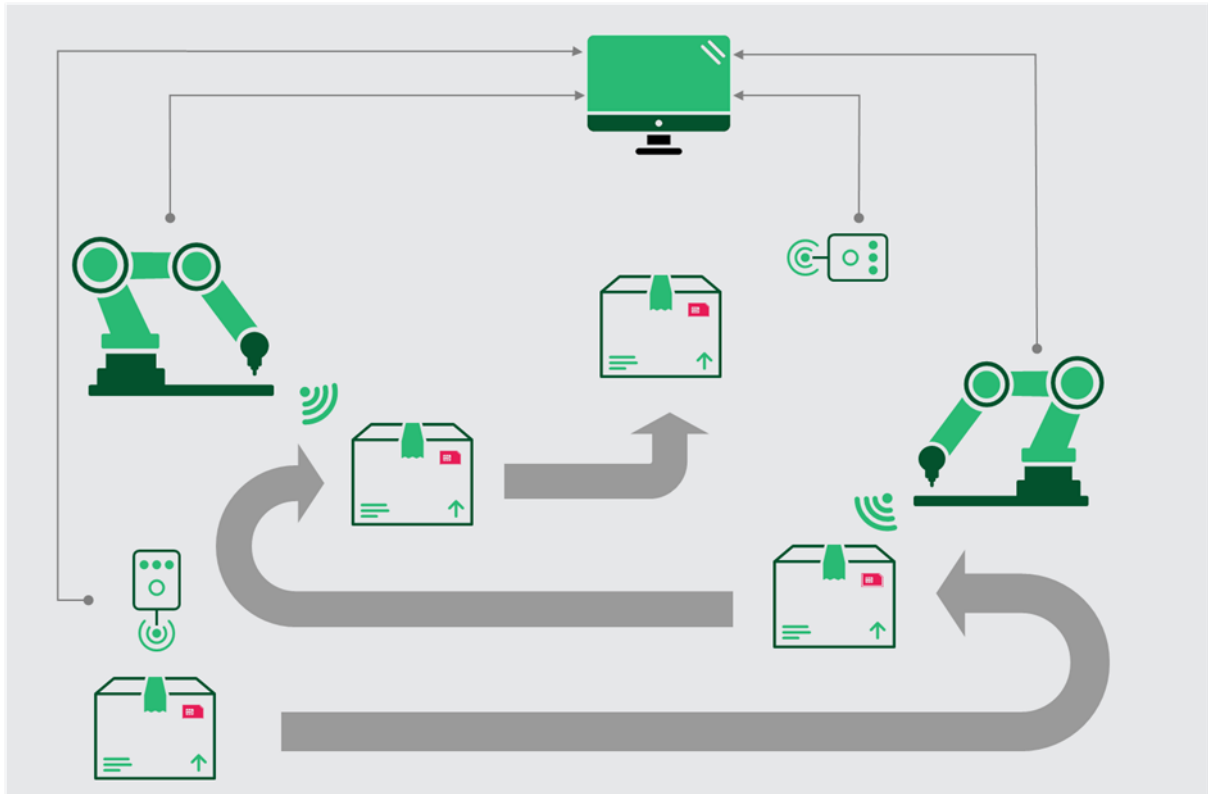
Fonte: Composição própria

Indo para o campo da manufatura e já incorporando essa tecnologia em um ambiente proposto pela Indústria 4.0, é possível conceber uma linha de produção muito mais independente. Isso porque o RFID permite que máquinas, peças e até pessoas possam ser identificados de maneira automática e independente. Esse seria o caso em que esses componentes levassem já acoplados uma etiqueta RFID – no caso de pessoas poderia estar em um cartão – e passassem por sensores estrategicamente localizados pela fábrica.

Dessa forma, é possível checar qual a posição de uma determinada peça, por exemplo, que seja de interesse do gestor, observando qual sensor fez o reconhecimento da respectiva

etiqueta RFID. Uma ilustração de uma linha de produção que conta com a tecnologia RFID para identificação de peças pode ser vista na figura 4.

Figura 4 - Linha de produção com identificação por RFID



Fonte: Composição própria

Isso porque, como mostrado na figura 4, o RFID permite que os objetos presentes nessa linha de produção sejam automaticamente identificados por leitores dispostos pela fábrica ou nas máquinas que a compõe. Os leitores fazem a leitura desses pequenos *tags* ou “etiquetas” – justamente os próprios RFIDs – que contêm todas as informações daquele objeto em específico.

2.1.1.4 NFC

Segundo o NFC Forum (2017), o NFC (Near Field Communication) é uma tecnologia sem fio e de radio-frequência que possibilita a interação simples e segura entre dispositivos eletrônicos, complementando muitas outras tecnologias sem-fio consideradas populares.

Ainda segundo o NFC Forum (2017), sua comunicação bidirecional acaba sendo ideal para estabelecer conexões com outras tecnologias através simplesmente do toque entre dispositivos habilitados. Essa tecnologia permite que dois dispositivos consigam trocar informações dentro de uma pequena distância (4cm) em uma velocidade máxima de comunicação de 424 kbps.

Na prática, o NFC permite que usuários usem um determinado dispositivo que seja compatível com a tecnologia em diferentes sistemas. Isso significa que esse dispositivo, que pode ser um smartphone, pode ser capaz de fazer transações e pagamentos, acessar informação de um smart poster ou até mesmo servir como credenciais para acesso a um sistema de controle – tudo através de um toque entre o celular e o outro dispositivo respectivo.

Trazendo para o contexto da Indústria 4.0, o NFC tem a capacidade de conectar diferentes objetos dentro do ambiente da fábrica de uma maneira muito mais rápida, eficiente e prática.

2.1.1.5 iGPS

De acordo com Hedges (2002), o GPS (*Global Position System*) é visto mundialmente como a principal ferramenta para geo-localização. O grande diferencial do GPS se encontra no conceito do sistema que está por trás dele: os satélites que atuam no sistema GPS operam sem a necessidade de seus usuários, ou seja, de maneira independente. O satélite não depende do usuário para funcionar, não precisa de algum comando vindo deste usuário. Cada usuário do sistema consegue a sua própria localização de maneira independente usando um sinal que segue um caminho de uma via só (*one-way signal path*), que vai do satélite para o receptor do sinal.

Trazendo esse conceito para o ambiente de uma fábrica, é possível ter um sistema similar ao GPS com o intuito de localização não apenas de usuários, mas de componentes que compõe a fábrica também. Seguindo essa linha, o que foi pensado por Hedges (2002) é um sistema que conta com transmissores que fazem uso de raio infravermelho para criar uma informação de posição *one-way*, que traz, por exemplo, a elevação entre um dos transmissores e receptor e também dados sobre o ângulo desse receptor. Cruzando essa informação com a informação angular de outros transmissores que fazem parte do sistema, é possível calcular a

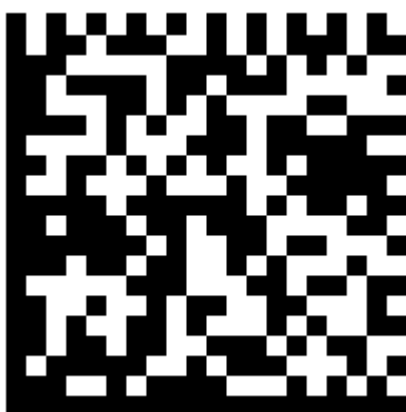
localização desse objeto ou usuário dentro do ambiente da fábrica. Nesse caso, os transmissores funcionam como os satélites de um sistema GPS. (D. MAISANO et al., 2008; HEDGES, 2002)

Essa tecnologia se encaixa na tendência trazida pela Indústria 4.0 pelo fator de independência que traz, junto com a possibilidade de maior controle sobre a localização de componentes da fábrica. O iGPS permite acesso a localização de peças em uma linha e produção de maneira automatizada e em tempo real, e tudo disponível de maneira simples em uma única tela.

2.1.1.6 Data matrix

De acordo com o site da empresa TecIT (2017), Data Matrix é um código de barras em forma de matriz, 2D, que conta com um padrão de quadrados pretos e brancos contendo alguma informação, sendo que esta pode estar em forma de texto. Cada matriz pode conter até 2kb e é um sistema que permite a leitura de dados mesmo que esteja com a imagem parcialmente danificada, isso porque existem códigos de correção de erros misturados com o dado real que ele representa. A figura 5 ilustra um exemplo de Data Matrix.

Figura 5 - Exemplo de data matrix



Fonte: www.datamatrixcode.net

Ainda de acordo com a TecIT (2017), esse tipo de codificação vem ganhando força no uso de marketing em celulares já que é possível escanear as matrizes com a câmera de um

smartphone, apesar desse código ainda não ser tão popular nesse meio quanto o QR Code – código similar que será discutido mais a fundo na seção 2.1.1.7. Nos aplicativos de celular em que é usado, o Data Matrix também é conhecido por SemaCode.

Porém, pensando no ambiente de manufatura, esse tipo de código pode ser eficiente para a identificação de peças ou máquinas. Nesse caso, uma data matrix seria estabelecido para determinada peça, e, uma vez escaneado, seria possível a sua identificação.

2.1.1.7 QR code

O QR code, assim como o Data Matrix (DM), também é um código de barras 2D em forma de matriz que é composto por quadrados pretos e brancos que armazenam dados e informações. É possível visualizar um QR Code na figura 6, onde também é possível notar a sua semelhança com o Data Matrix.

Figura 6 - Imagem de um QR Code



Fonte: br.qr-code-generator.com

Ambos são uma boa opção para a identificação de componentes dentro do escopo de manufatura, e as principais diferenças acabam sendo em termos de estrutura para a disposição dos pontos pretos e brancos, capacidade de armazenagem de dados e capacidade de leitura caso a imagem esteja parcialmente danificada.

Quadro 1 - Diferenças entre QR Code e Data Matrix

QR code	Data Matrix
Maior facilidade para ser escaneado	Pode ser usado para ID de itens menores
Maior capacidade de armazenamento	São códigos menores e mais compactos
Maior dificuldade para recuperar dados	Maior capacidade de recuperação de dado
São vistos como menos seguros	São preferíveis quando segurança é chave
QRC é mais conhecido comercialmente	DM é mais utilizado na indústria

Fonte: adaptado de <http://treewalkerlabs.com/difference-between-qr-code-and-data-matrix/> e <http://www.datamatrixcode.net/data-matrix-code-vs-qr-code/>

O quadro 1 resume algumas das diferenças entre os dois códigos.

Essas tecnologias discutidas na seção 2.1.1 são algumas das que viabilizam um modelo de ambiente fabril determinado pela Indústria 4.0. Porém, a revolução da Indústria 4.0 também pedirá e trará mudanças em tecnologias de manufatura. Isso significa que não serão apenas tecnologias viabilizadoras que ganharão força, mas também um novo conceito de sistema de manufatura que por sua vez incorpora tais tecnologias. Esse novo conceito de manufatura, chamado de Manufatura Avançada, será abordado com mais profundidade na seção 2.2, que vem a seguir.

2.2 Manufatura Avançada

Segundo Leitão (2009), a manufatura passou por mudanças significativas nos últimos anos. Um exemplo disso está no atendimento da manufatura às demandas da economia. No cenário anterior a essa mudança, a demanda vinha de uma economia local, sendo que nos últimos anos houve uma migração para o atendimento às demandas de uma economia mais globalizada e competitiva. Essas novas demandas vêm de um mercado que pede por produtos altamente customizados e de alta qualidade, que apresentam ao mesmo tempo um menor custo e um ciclo de vida mais curto (ZANCUL et al., 2016).

Para que se mantenham competitivas nesse novo ambiente, as empresas de manufatura precisam atender precisamente ao que o consumidor pede através de uma melhora na flexibilidade e agilidade da produção e entrega, porém sem prejudicar sua produtividade e

qualidade. Conseguir responder de maneira dinâmica a essa nova demanda que se mostra cada vez mais urgente se tornou um dos principais desafios no campo da manufatura e na indústria (LEITÃO, 2009).

Isso porque, de acordo com Leitão (2009), os sistemas de controle da manufatura tradicional são construídos sobre uma estrutura (ou arquitetura) muito rígida, que não consegue responder de maneira eficiente e eficaz a esse ambiente dinâmico de mudanças.

Ainda segundo Leitão (2009), nessas circunstâncias, o desafio então é o desenvolvimento de sistemas de controle em manufatura que apresente robustez, inteligência e adaptação a essas mudanças.

Leitão (2009) ainda diz que a introdução de sistemas com multi-agentes e de sistemas de manufatura autônomos poderia suprir essas novas demandas, trazendo vantagens em termos de modularidade, descentralização, autonomia, escalabilidade e reuso.

Frente a esse novo cenário, as empresas começaram a tentar atender a essas novas demandas e necessidades dos consumidores finais. Nessas tentativas, começaram a esbarrar nas limitações que o modelo e tecnologia de manufatura presentes apresentavam. Então, precisaram adaptá-los para que fossem capazes de atender a essa nova demanda do mercado e dos consumidores, ou até mesmo criar um novo modelo ou nova tecnologia que o fizesse.

Essa iniciativa levou ao surgimento de novas Tecnologias de Manufatura Avançada, ou AMT (*Advanced Manufacturing Technologies*). Tais tecnologias tem seu uso voltado para o controle e monitoramento de atividades de manufatura, e que permitem um aumento de eficiência e eficácia no processo produtivo (BOYER E PAGELL, 2000; KOTHA, 1991; KOTHA E SWAMIDASS, 2000; SMALL E YASIN, 2000; ZAMMUTO E O'CONNOR, 1992).

De acordo com Jonsson (2000) apud Durão et al. (2017) e Slack e Lewis (2001) apud Durão et al. (2017), essas tecnologias podem ser classificadas de acordo com a função dentro do processo de manufatura. As três classificações mais encontradas na literatura são as tecnologias de design, as tecnologias de manufatura e as tecnologias de gestão.

Olhando com mais cuidado as tecnologias de manufatura da Manufatura Avançada, existem duas delas que se destacam para o desenvolvimento desse trabalho: a Manufatura Aditiva e a Manufatura Distribuída. Isso porque a primeira permite a manufatura individual

de peças complexas, como colocado por Rommel e Fischer (2013) apud Durão et al. (2016), enquanto a outra permite um sistema integrado de manufatura localizado em diferentes geografias.

Nas próximas duas sessões, 2.2.1 e 2.2.2, será feito um melhor detalhamento dessas duas tecnologias de manufatura de modo a entender melhor como exatamente funcionam e quais os benefícios que cada uma traz consigo.

2.2.1 Manufatura Distribuída

Em um mercado cada vez mais globalizado, não é incomum empresas de manufatura encontrarem os seus clientes em diferentes geografias.

Segundo Durão et al. (2017), uma das decisões que precisam ser tomadas quando se aborda a manufatura de peças é justamente quanto à localização das fábricas, especialmente quando falamos em atender esse mercado globalizado.

Khajavi, Partanen e Holmström (2014) apud Durão et al. (2017) dizem que existem duas grandes maneiras de olhar para o planejamento da localização de uma fábrica de manufatura: o caso pode ser de haver uma fábrica centralizada, responsável pela produção e atendimento de todas as geografias que tenha demanda e pedidos, ou pode ser caso de uma manufatura distribuída, em diferentes locais que acabam por estar mais próximos do cliente final.

Segundo Durão et al. (2017),

“a produção centralizada facilita a implementação de processos e procedimentos padrão, além de garantir a qualidade. Entretanto, essas vantagens estão atreladas com um alto custo de entregas mais demoradas, alto inventário e alto custo logístico”.

Do outro lado temos as cadeias de suprimento de peças produzidas em separado, também conhecida como Manufatura Distribuída, que, de acordo com Andersson e Marklund (2000), vem como tentativa para reduzir os custos operacionais sem o comprometimento do nível de satisfação dos consumidores.

Dito isso, novos problemas também surgem com esse novo tipo de manufatura. De acordo com Farah et al. (2017), o surgimento da Manufatura Distribuída traz novos desafios no campo do controle de qualidade, como o de controle da qualidade feito remotamente.

De acordo com Perumal (2006) apud Farah et al. (2017), fazendo a ponte com a Indústria 4.0, tem-se que esse novo tipo de manufatura se relaciona com conceitos muito fortes dessa nova revolução industrial, como a Manufatura Aditiva, os *Cyber-physical Production Systems* (CPPS) e os Serviços Web, já que esses também impactam positivamente no desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos de peças produzidas em separado.

Sobre a relação com a Manufatura Aditiva, a união dessas duas tecnologias traz uma competência relevante para a empresa que conta com elas. Isso viabilizaria a produção de peças complexas em uma geografia diferente da matriz, porém contando ainda com a coordenação dessas unidades.

Para um melhor entendimento sobre os benefícios de se somar a Manufatura Aditiva com a Manufatura Distribuída e sobre como a Manufatura Aditiva realmente funciona, a seção 2.2.2 irá abordar com mais profundidade essa nova tecnologia.

2.2.2 Manufatura Aditiva

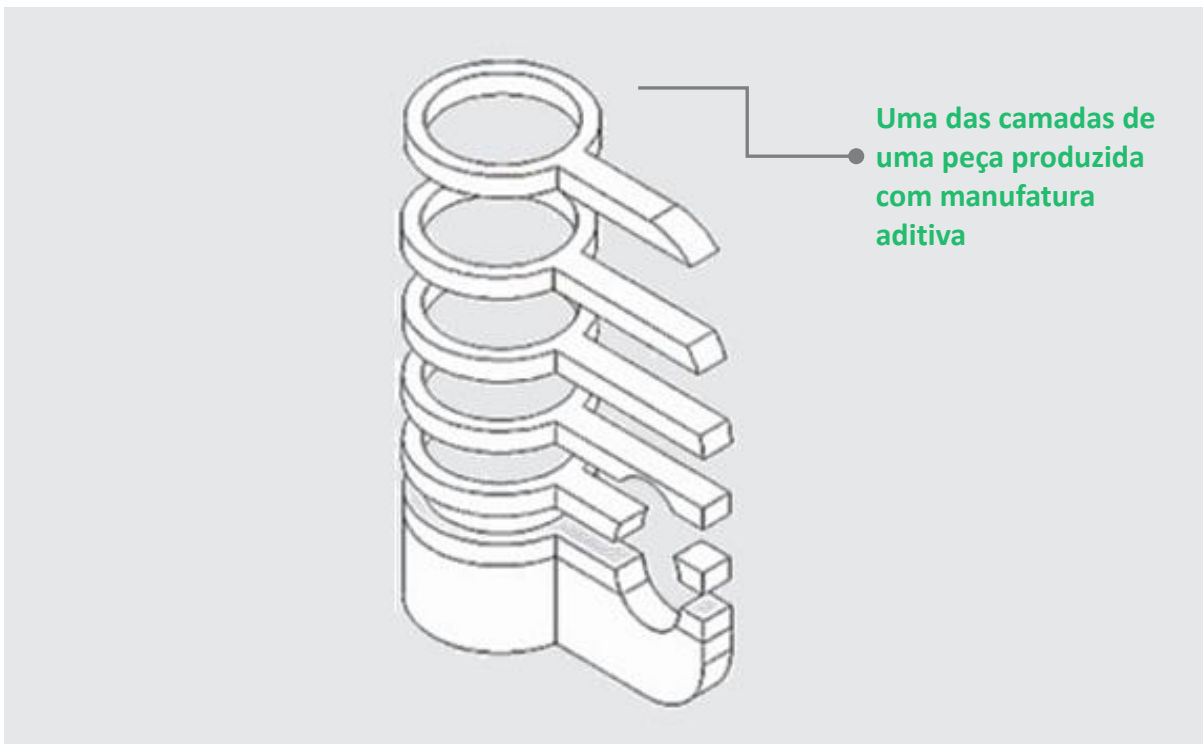
Outras tecnologias de manufatura, além da Manufatura Distribuída, vêm ganhando espaço e também dão suporte para a Indústria 4.0. Uma delas, segundo S. Rommel e A. Fischer (2013), é uma tecnologia que viabiliza a produção individual de peças e partes complexas. Ela é a chamada Manufatura Aditiva.

De acordo com Petrovic et al. (2011), esse modelo de manufatura oferece possibilidades inimagináveis para a produção de um determinado produto, o que traz um potencial de mudar a logística e os requerimentos dos negócios. Além disso, dependendo do sistema de produção, a Manufatura Aditiva pode contribuir com a redução do tempo de chegada de um produto ao mercado e também com a economia de materiais.

De acordo com M. Grimm, A. Christ e R. Anderl (2015), isso tem um significado relevante para a Indústria 4.0 já que traz a possibilidade de produção individualizada.

A Manufatura Aditiva é aquela que envolve a produção de um produto ou peça através da sobreposição de diferentes camadas de um material específico em uma maneira pré-determinada. Essas chamadas “camadas” são seções 2D de um produto 3D, como se pode ver na figura 7. Existe realmente pouca ou nenhuma limitação em termos de liberdade em design que esse tipo de processo oferece. Vale ressaltar também que quando se fala de Manufatura Aditiva, não se trata de uma tecnologia única e específica. Estão sendo consideradas todas as tecnologias usadas e envolvidas nesse processo de produção (S. ROMMEL E A. FISCHER, 2013).

Figura 7 - Ilustração de camadas de uma peça, maneira como a manufatura aditiva opera



Fonte: adaptado de <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11102/>

Se pensar em um cenário em que se somam os conceitos de Manufatura Distribuída e Manufatura Aditiva, os impactos em logística podem ser significativos. Isso porque essa combinação permite a produção a distância de peças complexas, o que torna possível inferir uma diminuição em *lead time* e custo interessante. A combinação dos dois pode ajudar a formar uma “indústria otimizada” como um todo.

Porém, esses novos modelos de manufatura trazem consigo um novo conceito de fábrica. Esse conceito muitas vezes acaba sendo muito diferente do conceito que era antes o

dominante, e acaba impondo uma nova maneira de interação entre as pessoas que atuam na fábrica e a própria linha de manufatura.

Dessa forma, essas pessoas que agora estarão sujeitas a esse novo tipo de interação precisam aprender e ser treinadas a interagir e se relacionar com a esse novo ambiente. Elas precisam estar preparadas e saber lidar com tecnologias e um ambiente de fábrica totalmente novo.

Para isso, existe um ambiente que tem como função justamente isso: a aprendizagem, treinamento e ensino de pessoas ao ambiente de fábrica e manufatura. Ele é a fábrica de ensino (ABELE et al., 2015).

Esse tema será abordado com um pouco mais de detalhe na seção a seguir, a seção número 2.3.

2.3 Fábrica de ensino

De acordo com Abele et al. (2015), as empresas estão encontrando um ambiente muito mais volátil e dinâmico que passa por grandes transformações, isso como consequência do novo cenário trazido pela Indústria 4.0. Junto com esse novo ambiente, as empresas estão encontrando também uma série de novos desafios. Para superar tais desafios, as empresas precisam se adaptar de maneira rápida a essas novas condições, o que esbarra em sua habilidade e capacidade para tal. Colocando, então, um maior enfoque nesses fatores, tem-se que suas capacidades e habilidades dependem fortemente das capacidades e habilidades de seus funcionários, fazendo com que as empresas busquem por formas de desenvolvê-los, principalmente no campo da manufatura. Formas tradicionais de ensino trazem efeitos limitados, o que pede por novas abordagens e formas de ensino que consigam entregar os seguintes requisitos:

- Permitir o treinamento em um ambiente de manufatura real;
- Modernizar o processo de aprendizagem e trazê-lo mais próximo da indústria;

- Alavancar práticas industriais através da adoção de novos conhecimentos e tecnologias de manufatura;
- E acelerar a inovação na área de manufatura através da capacitação de jovens talentos.

Essas necessidades abriram espaço para as chamadas “fábricas de ensino”, que vêm ganhando força e maior conhecimento pelo mundo.

Tanto no meio acadêmico como na indústria, as “fábricas de ensino” (ou “fábricas de aprendizagem”) são consideradas como ambientes de aprendizagem bem similares à realidade, ou seja, a um ambiente de fábrica real, que visam promover a educação e formação de profissionais nesse ambiente de manufatura. Essas fábricas, portanto, integram diferentes métodos de ensino que tem como objetivo deixar os processos de ensino-aprendizagem o mais parecido possível com problemas industriais reais (TISCH et al. apud CHENG, 2016).

As fábricas de ensino colocam um ambiente de produção em conformidade com a realidade como um ambiente de aprendizagem, de forma que todos os processos e tecnologias que compõe a fábrica são baseados em fábricas e indústrias reais (ABELE et al., 2015).

Ainda segundo Abele et al. (2015) apud Cheng (2016), existem dois principais objetivos para as fábricas de ensino, sendo eles: a inovação tecnológica e/ou organizacional, se usada com o propósito de pesquisa; e o desenvolvimento eficaz de competências de seus participantes para que se acostumem a situações complexas e não-usuais, se usada com fins educacionais e de treinamento.

Abele et al. (2015), também identificam mais de 50 características das fábricas de ensino divididas em sete grandes dimensões, sendo elas:

1. Modelo de Operação: engloba a natureza da fábrica em operação (ex.: acadêmica, industrial, etc.), o staff responsável pelo aprendizado dos participantes e também como a fábrica está sendo financiada. Um plano que seja sustentável e que garanta a continuidade da fábrica e operações é desejável;
2. Propósito: inclui estratégia da fábrica, seu público e indústria-alvo assim como o escopo de assuntos que a fábrica cobre;

3. Processo: métodos de manufatura e tecnologia, tipo de processo e fluxo de materiais são alguns dos pontos abordados nessa dimensão;
4. Configuração: aqui é colocado se o ambiente da fábrica será virtual ou físico e como o sistema de TI será integrado. É importante ressaltar que essa configuração é mutável, ela é flexível;
5. Produto: é onde é definido e especificado o produto base da fábrica. São definidos o número de diferentes produtos que ela englobará, suas variantes, tipo e formas do produto, origem, etc.;
6. Didática: essa dimensão engloba quais serão os objetivos de aprendizado que a fábrica tem, qual o tipo de ambiente a fábrica contará para o aprendizado, quais os papéis dos treinadores da fábrica, as avaliações, etc.;
7. Métricas da fábrica de ensino: aqui estão incluídas métricas como espaço disponível de fábrica, número de participantes por sessão de treinamento, número de sessões, etc.

As fábricas de ensino, assim como qualquer fábrica, tem os seus componentes distribuídos pela sua área de forma a caracterizar seu layout. Dessa forma, é possível desenhar infinitos layouts para uma mesma fábrica, sendo que cada um deles trará certas vantagens e certas desvantagens. Somente entendendo a fundo quais tipos de layout existem e quais as vantagens de cada um que se pode escolher pelo layout que otimize a produção e o processo da fábrica.

Por causa disso, um maior detalhamento sobre layouts será feito a seguir, na seção 2.4.

2.4 *Layout*

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), o arranjo físico de uma operação é “como seus recursos transformadores são posicionados uns em relação aos outros e como as várias tarefas da operação serão alocadas a esses recursos transformadores”.

Em outras palavras, o arranjo físico acaba definindo o *layout* da fábrica e aonde seus componentes irão se posicionar.

Para uma mesma fábrica, existe uma infinidade de variações de arranjos físicos possíveis, já que seus componentes podem ser organizados de muitas maneiras diferentes. Com isso em mente, Slack, Chambers e Johnston (2009) colocam que a decisão sobre qual arranjo físico usar é importante porque um arranjo físico não-ótimo

“pode levar a padrões de fluxo muito longos ou confusos, filas de clientes, longos tempos de processo, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis e altos custos”.

Dessa maneira, existe um arranjo físico ótimo para cada fábrica e cabe a gestão buscá-lo, levando em consideração esses possíveis problemas citados e em como direcioná-los.

Ainda segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), além desses pontos levantados, ao desenhar um arranjo físico deve-se atentar a alguns outros objetivos gerais que também são importantes e relevantes para qualquer fábrica: uma segurança inerente (a fábrica ser naturalmente segura, não infringir perigo para as pessoas que interagem com ela); extensão do fluxo; clareza do fluxo; conforto para os funcionários; coordenação gerencial; acessibilidade; uso do espaço; e flexibilidade de longo prazo.

Apesar de termos infinitos arranjos físicos possíveis para uma mesma fábrica, esses arranjos podem ser classificados em tipos de arranjos físico. De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), existem 4 diferentes tipos de arranjos físicos:

- Arranjo físico posicional;
- Arranjo físico funcional;
- Arranjo físico celular;
- Arranjo físico por produto.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), o arranjo físico posicional é aquele em que o recurso transformado se mantém fixo, imóvel, enquanto que os recursos transformadores se movem conforme necessário. Ou seja, o material que sofre o processamento fica estacionário, enquanto outros recursos como máquinas, pessoas e instalações se movem pela fábrica. Este é o caso quando o recurso trabalhado impõe barreiras que impedem ou dificultam a sua locomoção, seja por ele ser um objeto de grandes

proporções, ou por ser um objeto muito delicado para ser movido ou pelo objeto se opor a ser movido. As vantagens desse tipo de arranjo, de acordo com Peinado e Graeml (2007), são: a não movimentação do produto e a possibilidade de terceirização do projeto. Já as desvantagens, segundo os mesmos autores, são: a complexidade na supervisão e controle da mão de obra, de matérias-primas e de ferramentas; a necessidade de áreas externas próximas a produção para submontagens; e a produção que acaba sendo em pequena escala e com baixo nível de padronização. Alguns exemplos são: construção de uma rodovia; cirurgia de coração; manutenção de computador de grande porte; etc. (SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009)

O arranjo físico funcional, segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), é aquele que é definido com base nas funções que são desempenhadas pelos recursos transformadores que constituem o processo. Nesse tipo de arranjo, recursos e processos similares tendem a ficar próximos uns dos outros, tanto por conveniência quanto por benefícios provenientes da utilização próxima desses recursos transformadores. Esse arranjo se caracteriza também por ter um fluxo de operação bem complexo, dado que ele é organizado por “atividades”, e, portanto, diferentes produtos – que acabam tendo diferentes necessidades - passam por diferentes atividades, em diferentes ordens. As vantagens desse tipo de arranjo, segundo Peinado e Graeml (2007), são: maior flexibilidade; maior nível de motivação da mão-de-obra; atendimento de produtos diversos em quantidades variáveis ao mesmo tempo; e menor investimento para instalação do parque industrial. Já as desvantagens são: longo fluxo dentro da fábrica; diluição menor do custo fixo; dificuldade em balanceamento; necessidade de mão-de-obra qualificada; e maior necessidade de preparo e set-up das máquinas. Alguns exemplos desse tipo de arranjo são: hospitais; usinagem de peças de avião; supermercados; etc. (SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009)

O arranjo físico celular, ainda de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), “é aquele em que os recursos transformados, entrando na operação, são pré-selecionados para movimentar-se para uma parte específica da operação (ou célula) na qual todos os recursos transformadores necessários para a atender a suas necessidades imediatas de processamento se encontram”. A célula em si pode ainda ter um arranjo físico próprio. O arranjo físico celular é uma tentativa de trazer maior organização para o arranjo funcional, visto que este último apresenta um fluxo de processamento muito complexo, como discutido anteriormente. Segundo Peinado e Graeml (2007), as vantagens deste tipo de arranjo são: aumento da flexibilidade quanto ao tamanho de lotes por produto; diminuição do transporte de material;

diminuição dos estoques; e maior satisfação no trabalho. Já as desvantagens, segundo os mesmos autores, são: limitação a uma única família de produtos e dificuldade em elaborar o arranjo. Alguns exemplos desse tipo de arranjo são: maternidade em hospital, área para produtos de lanches rápidos em supermercados, feiras e exposições no geral, etc. (SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009, PEINADO E GRAEML, 2007)

Por fim, o arranjo físico por produto, de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), envolve posicionar os recursos transformadores de modo a formar uma linha de produção, em que o recurso transformado acaba percorrendo essa sequência de processos. Nesse tipo de arranjo, o fluxo de produtos acaba sendo mais claro e previsível. Segundo Peinado e Graeml (2007), as vantagens desse tipo de arranjo são: possibilidade de produção em massa com grande produtividade; carga de máquina e consumo de material constantes ao longo da linha de produção; e um controle mais fácil da produtividade. Já as desvantagens, ainda de acordo com Peinado e Graeml, são: alto investimento em máquinas; mão-de-obra pouco motivada; falta de flexibilidade na própria linha; fragilidade a paralisações; e subordinação aos gargalos. Exemplos desse tipo de arranjo são: montagem de automóveis; programa de vacinação em massa; restaurante self-service; etc. (SLACK, CHAMBERS E JOHNSTON, 2009)

Ainda, existe também aqueles arranjos que misturam conceitos de mais de um arranjo, sendo estes chamados de arranjos mistos. Esse acaba sendo o caso quando se necessita vantagens de diferentes tipos de layout.

Olhando para a Indústria 4.0, apesar de inserir um novo conceito para a manufatura, as fábricas ainda precisarão ter as novas tecnologias e máquinas dispostas de modo a formar o seu layout. A ideia continua a mesma que antes do início da Indústria 4.0, só que agora a interação entre diferentes máquinas e entre máquinas e pessoas será diferente, o que pode acabar influenciando na disposição dessas na fábrica. Porém, os tipos de layouts e suas vantagens continuam as mesmas.

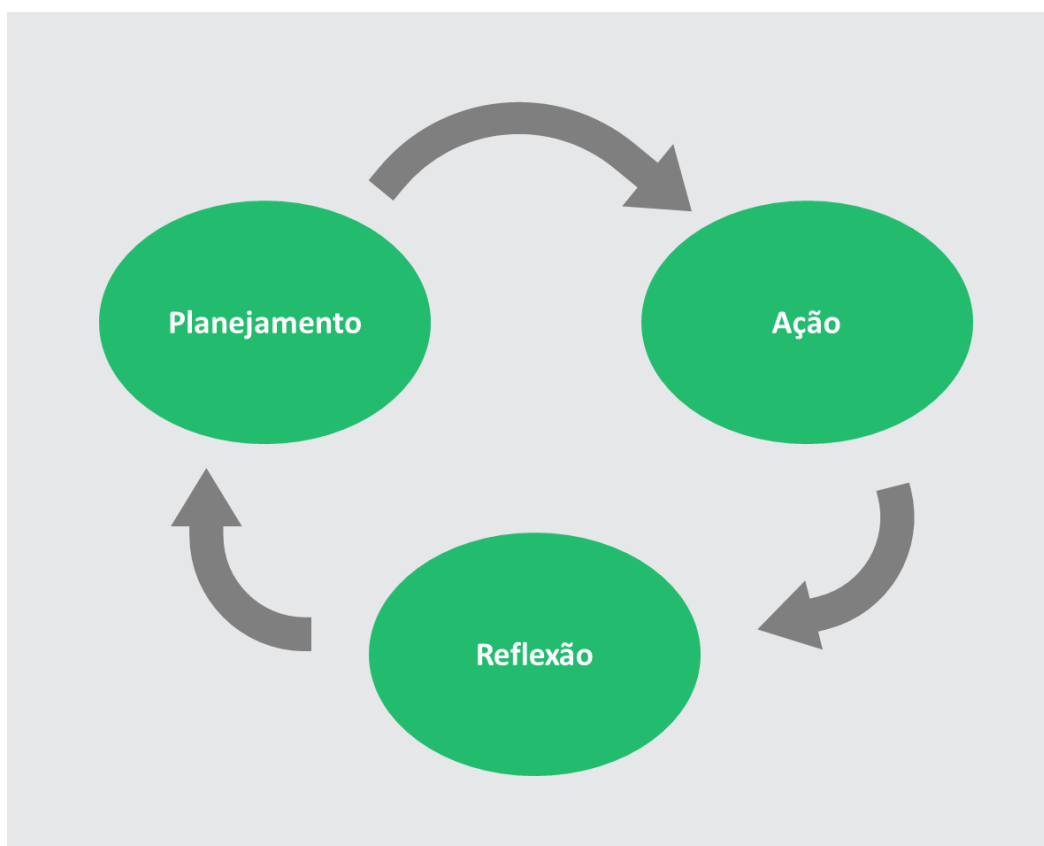
3 Metodologia

A metodologia-base para a condução desse trabalho foi a de pesquisa-ação. Segundo Thiollent (1997) apud Costa, Politano e Pereira (2014)

“a pesquisa-ação consiste essencialmente em acoplar pesquisa e ação em um único processo, no qual os atores implicados participam, junto com os pesquisadores, para chegarem interativamente a elucidar a realidade em que estão inseridos, identificando problemas coletivos, buscando e experimentando soluções em situação real. Simultaneamente, há produção e uso de conhecimento”.

Essa metodologia, de acordo com Dick (2000) apud Costa, Politano e Pereira (2014), possui uma natureza cíclica e, portanto, envolve iterações de determinadas etapas. Uma versão simplificada desse ciclo envolvido em uma pesquisa-ação é mostrada na figura 8.

Figura 8 - Ciclo simplificado de uma pesquisa-ação



Fonte: adaptado de Dick (2000) apud E. Costa, R. Politano e N. Pereira (2014)

Como o projeto da Fábrica do Futuro POLI já estava em curso quando o projeto relatado nesse documento iniciou, todo o desenvolvimento e descobertas decorridas desse

esforço em específico são vistos como parte de um projeto maior, de forma que o passo a passo desse trabalho pode ser visto como uma das iterações do ciclo do projeto principal.

Portanto, olhando de maneira mais focada e mais prática para o desenvolvimento do trabalho em si, foi pensada uma metodologia que pode ser dividida em 6 diferentes etapas:

1. Planejamento do Projeto;
2. Aprofundamento Teórico;
3. Entendimento e entrada no projeto principal;
4. Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações;
5. Definição de componentes e características da fábrica;
6. Implementação.

Então, primeiramente foi tomado um tempo para pensar em quais etapas iriam compor o projeto.

Em seguida, foram estabelecidas três etapas que seriam executadas de maneira simultânea: o aprofundamento teórico; o entendimento e entrada no projeto principal; e o mapeamento de tecnologias, de materiais e de limitações. O aprofundamento teórico seguiria através da identificação de temas relevantes relacionados com o projeto, seguido pela busca e leitura de artigos científicos, livros e sites relevantes que trouxessem um maior conhecimento sobre o assunto.

O entendimento e entrada no ciclo do projeto principal aconteceria tanto por meio de reuniões periódicas com os líderes e envolvidos no projeto, quanto por meio de leitura sobre iterações passadas e também sobre outros detalhes do que já foi feito anteriormente no projeto principal.

O mapeamento de tecnologias, materiais e limitações aconteceria por meio da busca e levantamento de tecnologias e ideias que poderiam ser agregadas ao projeto da Fábrica do Futuro. Além disso, essa seria a etapa para entender quais seriam as limitações que existiriam para a execução do projeto, incluindo a limitação entre a teoria encontrada e as ideias

realmente disponíveis e viáveis para o caso de uma fábrica de ensino no Brasil, e mais especificamente para o caso da Fábrica do Futuro POLI.

Depois que essas três etapas fossem concluídas, a próxima fase seria a definição de quais tecnologias seriam incorporadas à Fábrica do Futuro POLI, além de outras características como qual a disposição dessas tecnologias na Fábrica e como elas iriam se relacionar. Todos os detalhes que se relacionassem com o funcionamento da Fábrica seriam abordados nessa seção também.

Depois de ter tudo planejado e pensado, a última etapa do projeto seria justamente a Implementação, e então, a documentação e conclusão do trabalho. No quadro 2 é possível ver um resumo das etapas e atividades relacionadas com cada uma.

Quadro 2 - Resumo de etapas do trabalho

Etapas	Conteúdo
Planejamento do projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de etapas • Estruturação do projeto
Aprofundamento teórico	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação de temas relevantes • Definição de canais para busca de informações • Exploração de canais
Entendimento e entrada no projeto principal	<ul style="list-style-type: none"> • Reuniões periódicas com envolvidos no projeto principal • Leitura de documentos anteriores do projeto principal
Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento de tecnologias • Levantamento de outros materiais necessários • Entendimento de limitações ao trabalho
Definição de componentes e características da fábrica	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de quais tecnologias serão integradas • Definir disposição de tecnologias • Definir quais outros materiais irão

	compor a fábrica
	• Definir qual o local a ser montada a Fábrica do Futuro
Implementação	• Implementar plano traçado na seção de definição e características da fábrica

Fonte: Criação própria

Um maior detalhamento de cada uma dessas etapas será feito nas seções 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5.

3.1 Planejamento do projeto

Para garantir o melhor andamento possível do projeto, inicialmente foi feito um planejamento onde foram definidas quais etapas iriam fazer parte do projeto, assim como qual seria o escopo que ele abrangeria.

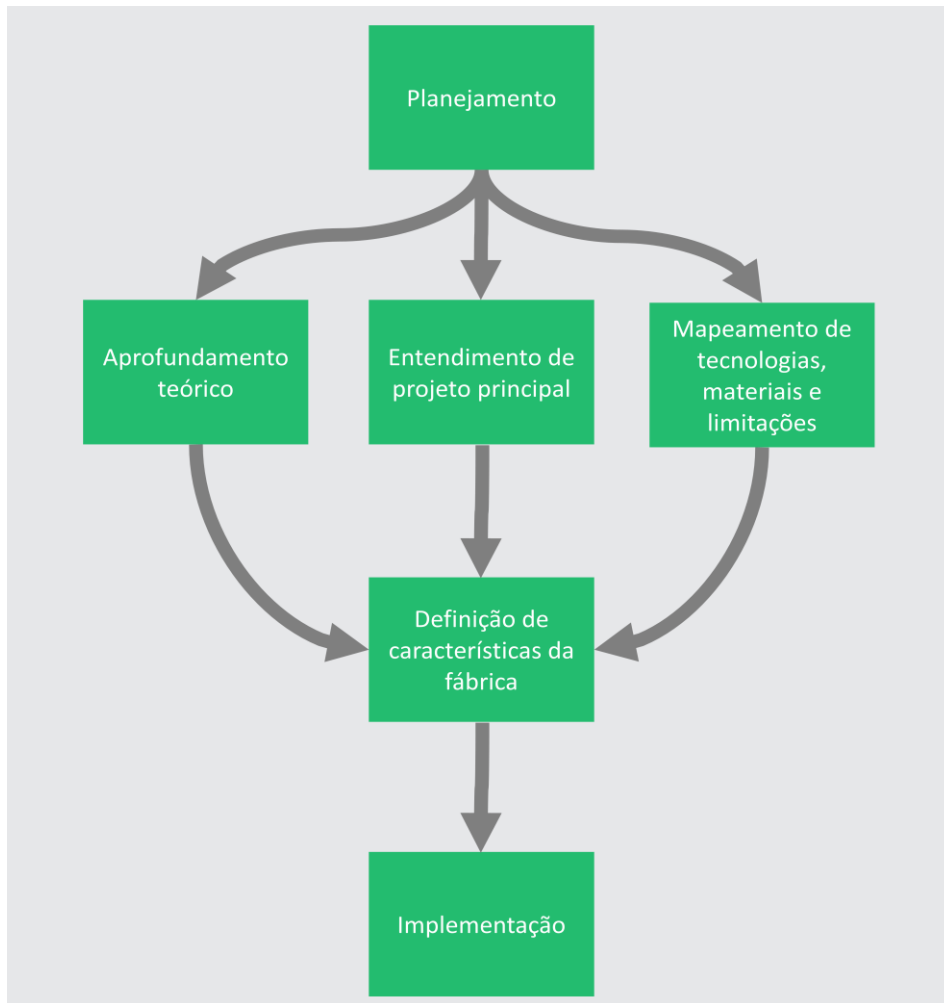
Os resultados do Planejamento é apresentado nessa seção de metodologia, de forma que o capítulo de Resultados - capítulo 4 - não englobará resultados dessa etapa.

Dessa forma, como já colocado, na fase de Planejamento do Projeto foram definidas 6 diferentes etapas que iriam compor esse trabalho: Planejamento do Projeto; Aprofundamento Teórico; Entendimento do projeto principal; Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações; Definição de componentes e características da fábrica; e Implementação.

Essas etapas não necessariamente precisavam ocorrer de maneira sequencial, dado que algumas delas não dependiam de uma predecessora para acontecer.

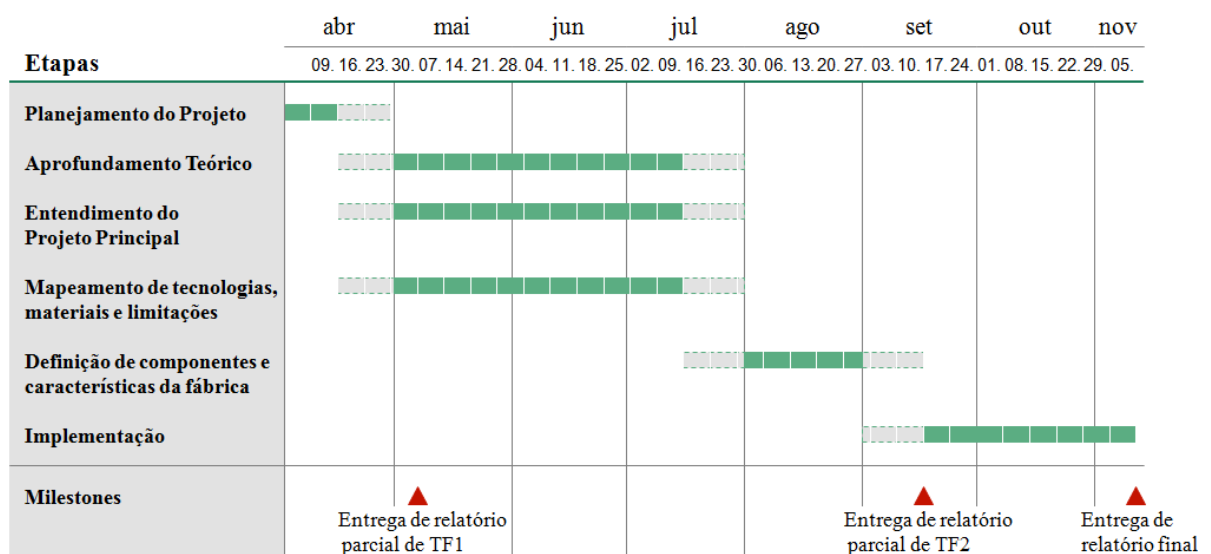
Portanto, na tentativa de otimizar a condução do trabalho de forma que o tempo necessário para a sua conclusão fosse menor, algumas das etapas foram planejadas para ocorrer de maneira concomitante, como pode ser visto na figura 9 e também no gráfico de Gantt (figura 10):

Figura 9 - Relação de dependência entre etapas do projeto



Fonte: criação própria

Figura 10 - Gráfico de Gantt mostrando o planejamento do projeto



Fonte: Criação própria

Apesar de se ter um planejamento com datas e períodos pré-definidos e alinhados com o time de projeto, foi também acordado que seria possível flexibilizar algumas datas ou atividades. Isso para que fosse possível que uma atividade fosse adiantada ou adiada caso necessário ou conveniente, e que é evidenciado no gráfico de Gantt pelas barras em cor cinza.

3.2 Aprofundamento Teórico

Após a definição sobre quais etapas iriam fazer parte do projeto, três etapas aconteceriam concomitantemente: o Aprofundamento Teórico; o Entendimento do projeto principal e o Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações.

A ideia do Aprofundamento Teórico, como já colocado antes, é trazer um maior conhecimento sobre temas que são relevantes para o conceito da Fábrica do Futuro, de forma a conseguir navegar por eles e trazer valor para o projeto.

Para isso, primeiro era preciso identificar quais temas seriam abordados e incluídos nesse aprofundamento. Nesse processo de identificação, foi pensado em identificar temas de duas maneiras: por indicação de profissionais da área e pela análise de conteúdo de artigos científicos e documentos sugeridos por eles.

Uma vez realizadas essas duas atividades, uma lista com os temas a serem aprofundados estaria pronta, e, então, esta seria levada para validação do orientador e líderes do projeto principal. Caso ajustes fossem necessários, uma nova iteração desse processo iria acontecer, levando a uma nova validação. Uma vez a lista validada e aprovada pelo time do projeto, os temas então estariam definidos e o melhor entendimento de cada um deles poderia começar.

Esse aprofundamento aconteceria por meio de uma lista com alguns canais pré-definidos, mas com a observação de que essa lista poderia ser alterada caso um novo meio capaz de trazer informações relevantes surgisse no decorrer do trabalho. Os canais pré-definidos foram:

- trabalhos de formaturas relacionados ao tema;
- artigos científicos pré-indicados pelos líderes do projeto principal;
- pesquisa livre de artigos científicos em bases acadêmicas;
- livros relevantes sobre os temas pré-definidos;
- websites e fóruns relevantes sobre os temas.

Uma vez esses canais explorados, o entendimento é de que o aprofundamento sobre a lista de temas seja concluído.

3.3 Entendimento e entrada no projeto principal

Como já esclarecido em seções anteriores, esse trabalho faz parte de um projeto maior que já estava em andamento, o projeto da Fábrica do Futuro POLI.

Para que esse trabalho fosse de sucesso e fizesse parte desse projeto maior, foi necessário um *ramp up* do projeto para que se pudesse entender o seu objetivo, escopo, o que já havia sido feito e o que faltava por fazer.

Para isso, na seção de planejamento foi também pensado em como fazer a imersão no projeto que já estava em curso e também em como esse trabalho seria incorporado e agregaria valor ao projeto inicial.

Olhando para a primeira parte, a de *ramp up*, o que foi decidido foi pela leitura tanto dos trabalhos de formaturas anteriores que também fizeram parte do projeto principal quanto pela leitura de artigos científicos relacionados a ele, além de conversas e reuniões regulares com os envolvidos no projeto inicial. Os trabalhos e artigos científicos seriam indicados pelos líderes do projeto, já que esse seria o jeito ótimo para alavancar e para que repassassem o conhecimento prévio que tinham sobre o projeto.

3.4 Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações

Nessa fase, as atividades basicamente se resumiriam em:

- fazer o levantamento de quais tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 poderiam ser incorporadas à Fábrica do Futuro POLI;
- Entender e levantar outros materiais seriam necessários para o funcionamento da Fábrica do Futuro POLI;
- Entender quais limitações poderiam surgir para a implementação do projeto.

Para o levantamento de tecnologias que poderiam ser incorporadas, a estratégia estabelecida foi de, primeiro, identificar quais tecnologias da Indústria 4.0 iriam ser consideradas para tal levantamento. Para isso, seria usado como base dimensões da Indústria 4.0 definidas em uma publicação da consultoria The Boston Consulting Group, escrito por Rüßmann et al. (2015), chamada “*Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*”.

Com essas tecnologias definidas, o próximo passo seria levantar diversos demonstradores de tecnologias e processos presentes em outras fábricas de ensino pelo mundo. A fonte definida para esse levantamento seriam os artigos de edições passadas do Procedia Manufacturing, CIRP Conference on Learning Factories (CLF). Isso porque essa conferência se mostrou como uma das mais relevantes no quesito de fábricas de ensino, e, de acordo com boletim escrito para divulgação da 5ª edição do evento (VOGT, 2015), é uma conferência que desde 2011 vem se posicionando como um dos fóruns internacionais mais famosos para o compartilhamento de pesquisas e novas visões na área de fábricas de ensino. Seguindo essa linha, essa conferência cada vez mais traz novidades de implantação de tecnologias da Indústria 4.0, se fazendo extremamente relevante para a condução desse trabalho.

Apesar da CLF vir apresentando muitos demonstradores interessantes de tecnologias da Indústria 4.0, é provável que também sejam encontradas demonstrações de conceitos fora da quarta revolução industrial. Dessa forma, uma vez levantados os demonstradores, seria

feita uma seleção daqueles que estão no escopo da Indústria 4.0, já que são esses os que seriam interessantes para a Fábrica do Futuro POLI.

Como essa é uma etapa que aconteceria simultaneamente com a etapa de entendimento do projeto principal (etapa 3.3), foi antecipado que outros detalhes e materiais também seriam necessários para a implementação de uma linha de produção alinhada com a Indústria 4.0. Portanto, foi estabelecido que nessa fase seriam também levantadas opções para esses outros materiais que se mostrassem necessários para que a fábrica fosse colocada em funcionamento.

Por fim, essa etapa também cobriria o entendimento de quais limitações poderiam impactar o projeto, sejam elas de quaisquer dimensões, para tentar contorná-las da melhor maneira possível. Para a obtenção desse entendimento, se buscaria conversar com pessoas envolvidas no projeto principal para captar a visão deles sobre possíveis limitações. Tendo isso destacado, vale ressaltar que é esperado que outras limitações possam surgir, e que pode também ser o caso de algumas dessas hipóteses não se confirmar.

3.5 Definição de componentes e características da fábrica

A etapa de Definição de componentes e características da fábrica foi colocada como aquela em que o conceito da fábrica seria definido e estruturado e, portanto, é uma das fases mais críticas e importantes desse trabalho, junto com a etapa de Implementação.

Nela, todas as informações que seriam recolhidas na parte de Revisão Bibliográfica, na seção de Entendimento e entrada no projeto principal e na etapa de Mapeamento de tecnologias, materias e limitações seriam usadas e processadas para estruturar a Fábrica do Futuro POLI.

Portanto, da parte de Revisão Bibliográfica seria extraído o conhecimento para conseguir navegar e lidar com termos e assuntos-chave do projeto.

Da seção de Entendimento e entrada no projeto principal o grande aprendizado seria o entendimento de tudo o que já foi feito nesse projeto, a definição sobre qual estado ele está e também o que falta para que seja concluído – junto com isso seriam definidos também quais os próximos passos. A ideia é alavancar todo conhecimento prévio do projeto principal para

melhor estruturar o trabalho a ser desenvolvido nesse esforço. Com isso, nessa etapa seria possível utilizar tudo o que já foi feito anteriormente e somar com o trabalho descrito nesse relatório.

Por fim, a seção de Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações traria para o projeto uma lista com potenciais tecnologias a serem empregadas na Fábrica do Futuro POLI, uma segunda lista com outros materiais que possam ser necessários e entender quais limitações podem surgir na hora da implementação. Essas informações permitiriam a definição de quais seriam as tecnologias que realmente irão fazer parte da fábrica, quais outros componentes também serão necessários e também permitiriam uma melhor gestão e contorno das limitações encontradas.

Para o caso da definição das tecnologias, a lista com as tecnologias levantadas seria usada em uma análise para a identificação das mais recorrentes, para assim entender quais tecnologias são as mais empregadas em fábricas de ensino mundo afora, e, somado a isso, seria feita, também, uma análise sobre quais tecnologias então seriam as mais interessantes para aplicação à Fábrica do Futuro POLI.

Uma vez com as tecnologias definidas, a etapa seguinte seria identificar parceiros que pudessem fornecer soluções tecnológicas capazes de compor algum demonstrador que apresentasse uma ou mais tecnologias escolhidas. Para isso, seria feito o contato com empresas fornecedoras de soluções tecnológicas que são parceiras e que têm um contato próximo com o Departamento da Engenharia de Produção. O e-mail dos responsáveis pela área comercial das empresas seria compartilhado e a partir daí um contato mais próximo seria facilitado.

Somado a isso, outra frente que seria explorada também seria entender quais recursos já estão disponíveis no Departamento da Engenharia de Produção e que poderiam compor algum dos demonstradores da Fábrica do Futuro POLI. Por fim, a inclusão de outros possíveis recursos que poderiam ser incorporados a algum dos demonstradores também poderia acontecer.

Tendo esse passo concluído, seria possível definir e estruturar quais seriam os demonstradores integrados à fábrica e que seriam responsáveis por representar as tecnologias escolhidas. Com isso definido, será possível então também definir como esses componentes estariam dispostos na fábrica, compondo assim o seu *layout*.

Resumindo, o grande entregável dessa seção é o projeto da fábrica, que pode ser dividido em outros entregáveis menores, como se pode ver no quadro 3:

Quadro 3 - Lista de entregáveis

Entregáveis
Definição de demonstradores que integrarão a Fábrica do Futuro POLI
Definição do local destinado para a Fábrica do Futuro POLI
Layout da Fábrica do Futuro POLI definido
Outros materiais que irão compor a Fábrica do Futuro POLI

Fonte: Criação própria

Uma vez que essa lista de entregáveis estiver concluída será possível dar início à implementação da Fábrica do Futuro POLI.

3.6 Implementação

Finalmente, após o cumprimento de todas as outras etapas contidas no planejamento de metodologia, a próxima e última fase é a de Implementação.

O projeto e conceito da fábrica já estaria desenhado, e esse seria o momento para realmente implementar e colocar em prática tudo o que foi acordado e planejado.

Para começar essa etapa, é necessária estar pronta a lista de entregáveis da quadro 3, mencionada na etapa anterior, na seção 3.5.

Uma vez com esses fatores resolvidos, então será possível dar início à parte final de Implementação. O trabalho será justamente de recolher os materiais e matérias-primas que foram recolhidos e montá-los no local reservado para a fábrica.

O grande entregável desse projeto é uma versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI em funcionamento, mesmo que com algumas funcionalidades ainda não completamente desenvolvidas e operantes.

4 Condução do Projeto

Nessa seção será feito o detalhamento dos resultados das atividades feitas durante esse trabalho, seguindo o que foi estabelecido na seção 3, de Metodologia. Como já colocado no capítulo 3, os resultados da etapa de Planejamento do trabalho não serão incluídos nessa seção já que estão explicitados na seção de Metodologia.

Ainda, sobre a etapa de Aprofundamento Teórico, detalhes sobre quais materiais foram consultados (artigos científicos, sites, livros, etc.) não serão explicitados, pois não agregam conteúdo ao trabalho realizado.

Dessa forma, o detalhamento de resultados terá início na atividade de Entendimento e entrada no projeto principal.

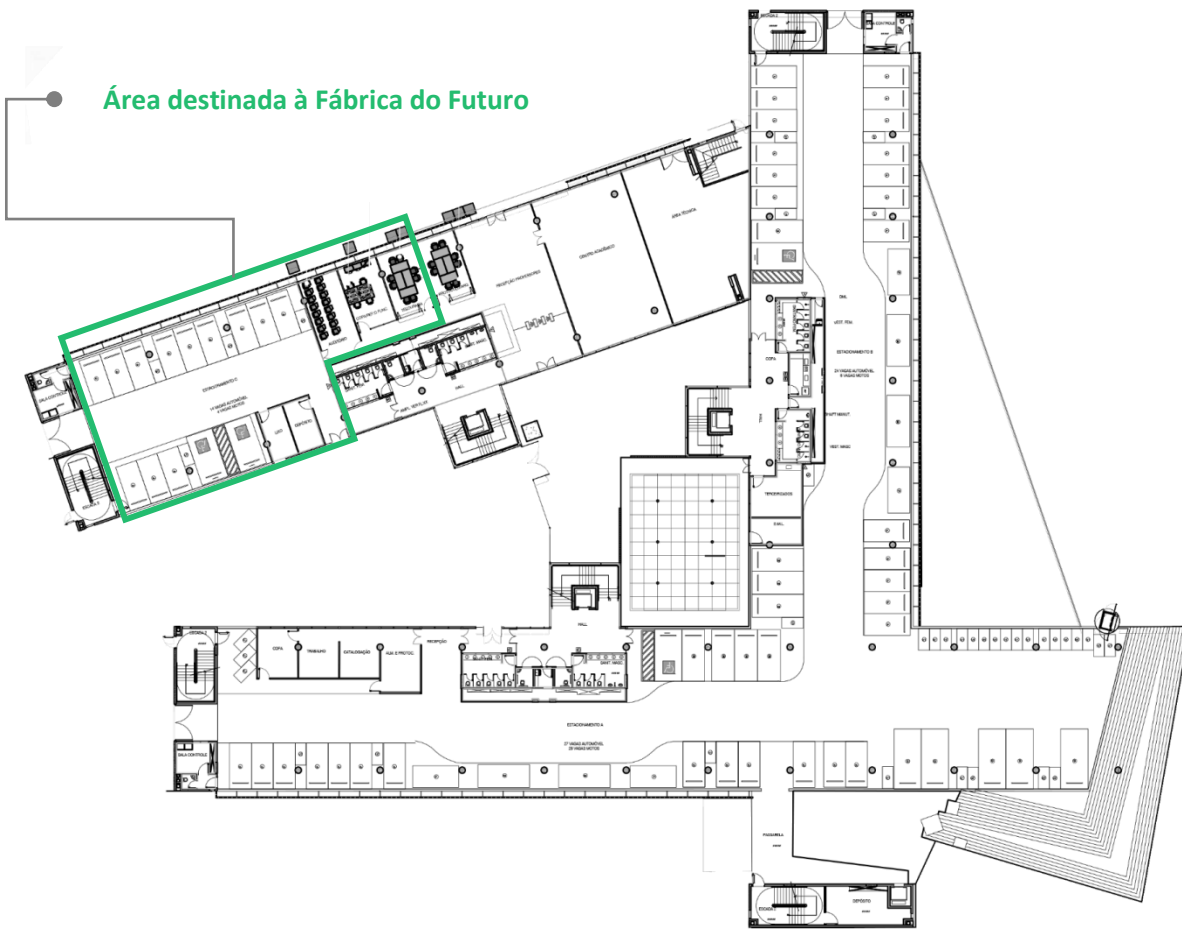
4.1 Entendimento e entrada no projeto principal

Seguindo o que tinha sido planejado para essa etapa, algumas reuniões tanto com o Prof. Dr. Eduardo Zancul quanto com o doutorando Luiz Durão aconteceram para explicações sobre o que o projeto principal se tratava e sobre o que já havia sido pensado para a Fábrica do Futuro. Junto a isso, trabalhos de formatura anteriores que também estavam relacionados com o projeto principal, como os trabalhos de Juliana Cavalcante da Silva – entregue em 2015 – e de Yen Wen Cheng – entregue em 2016 –, também foram estudados.

Das reuniões, foram duas as principais conclusões e aprendizados extraídos: um local para a instalação da versão final da Fábrica do Futuro POLI; e uma estrutura de manufatura distribuída que estava sendo idealizada em um outro projeto paralelo.

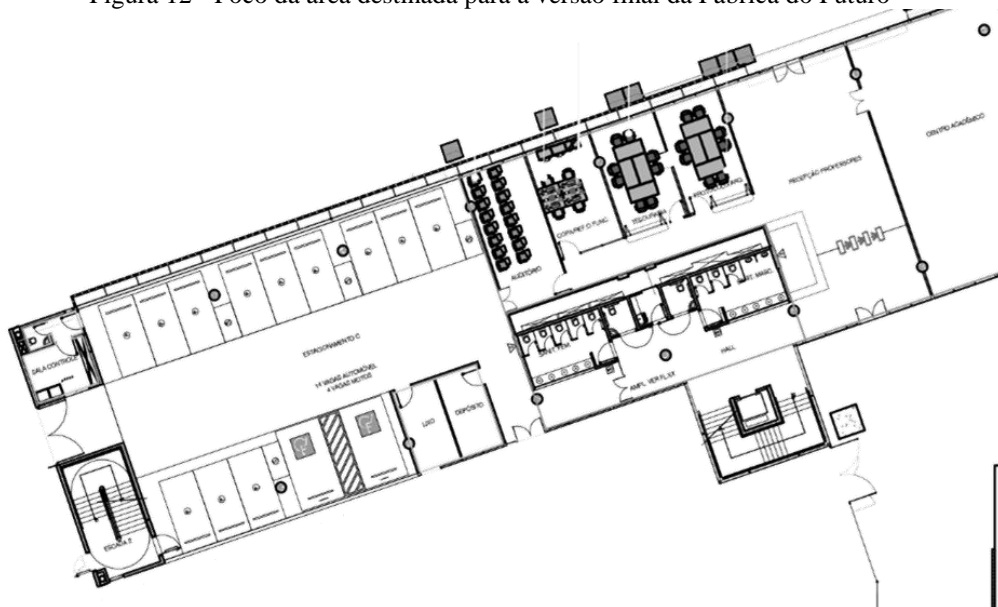
O local que foi destinado para a versão final da Fábrica do Futuro foi o prédio InovaUSP, em construção na USP, e que tem previsão para ficar disponível para uso em Janeiro de 2018. A planta do local pode ser visto com mais detalhes nas figuras 11 e 12. Como colocado antes, será feita uma versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI, que é o foco desse trabalho, e essa versão será instalada em um outro local.

Figura 11 - Planta do prédio em que a Fábrica do Futuro será implementada



Fonte: adaptado de apresentação InovaUSP - PATEO

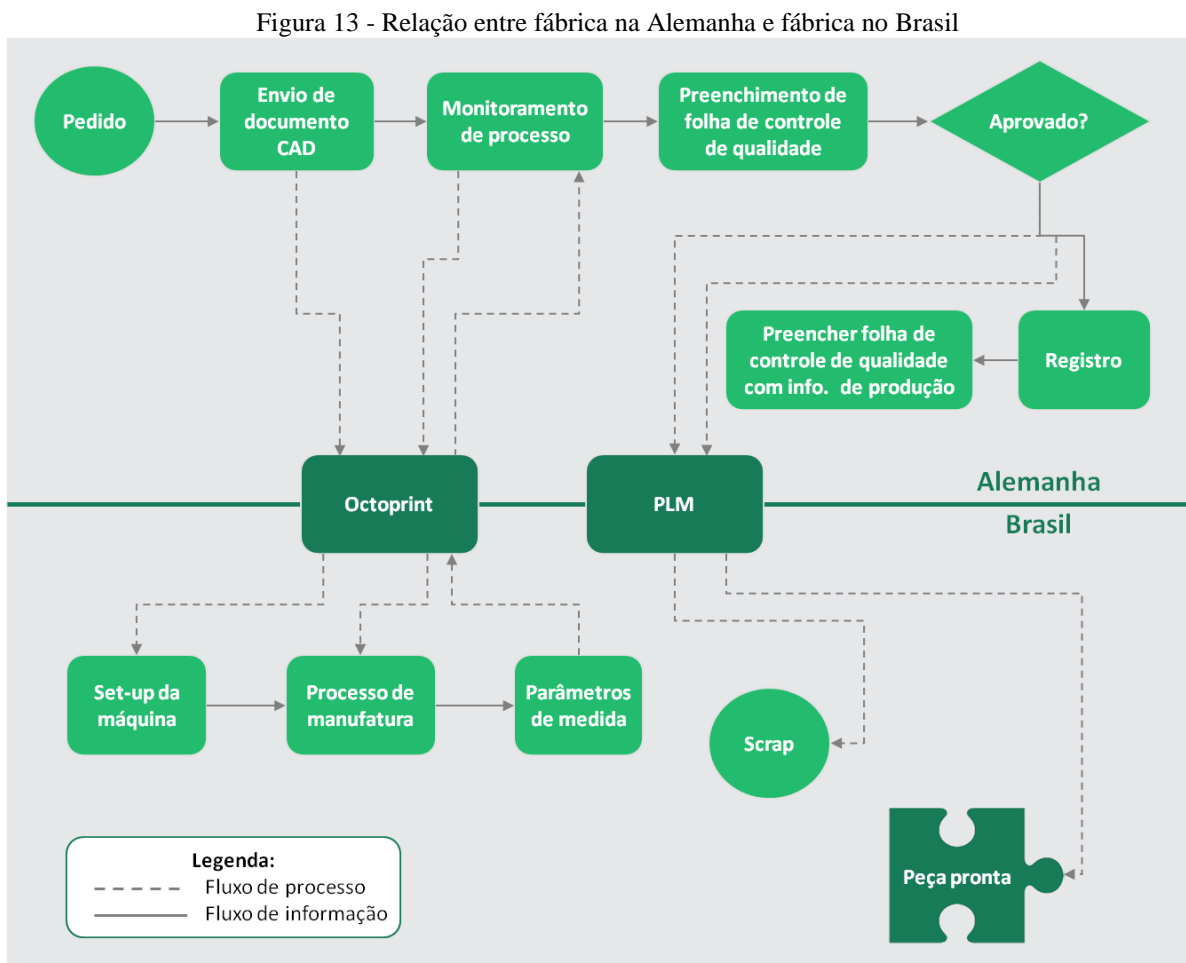
Figura 12 - Foco da área destinada para a versão final da Fábrica do Futuro



Fonte: adaptado de apresentação InovaUPS – PATEO

A estrutura de manufatura distribuída retirada desse projeto que corria em paralelo originou um sistema de manufatura com 3 diferentes unidades: a Fábrica do Futuro POLI, uma outra fábrica de ensino na Alemanha filiada à Universidade Técnica de Darmstadt (Technische Universität Darmstadt) e ao Laboratório de Sistemas Computacionais (SCPM) da Unimep (Universidade Metodista de Piracicaba).

Olhando para a última configuração do relacionamento entre essas 3 unidades, encontra-se um cenário onde a fábrica alemã seria responsável pela gestão do sistema de manufatura, a Fábrica do Futuro POLI seria responsável pela fabricação de algum componente do produto-exemplo e pela montagem do produto final, enquanto a unidade em Piracicaba fabricaria uma outra peça. Uma ilustração sobre parte da interação entre a fábrica na Alemanha e uma das fábricas no Brasil pode ser vista na figura 13.



Fonte: adaptado de Aguiar (2015)

Em relação aos trabalhos de formatura, o da Juliana da Silva, intitulado “Fábrica POLI: Concepção de uma fábrica de ensino no contexto da Indústria 4.0”, foi responsável por pensar em um primeiro escopo da Fábrica do Futuro POLI, definir um produto-exemplo para ela e também uma primeira lista de equipamentos. Depois disso, Juliana também fez uma primeira análise sobre a capacidade da futura fábrica assim como um layout para os equipamentos levantados.

O trabalho da Yen Cheng, intitulado “Fábrica POLI: detalhamento de uma fábrica de ensino no contexto da Indústria 4.0”, representou um maior detalhamento sobre qual o escopo a Fábrica do Futuro POLI iria ter a partir de um produto-exemplo já definido, além de detalhar também quais seriam os componentes que fariam parte da fábrica e a sua disposição.

Partindo dessa última iteração, encontra-se um cenário em que o produto-exemplo definido foi um skate, que é diferente daquele definido no trabalho da Juliana, uma bicicleta (como explicitado na seção 3 sobre a metodologia, esse é um projeto pesquisa-ação e envolve algumas iterações para a conclusão do projeto). Cheng (2016) também definiu que a Fábrica do Futuro POLI teria um maior foco na montagem do skate, e não na produção de suas peças.

Cheng (2016) fez um levantamento de materiais que inclui telas *touch screen* para suporte das operações da fábrica e aparelhos como leitores de *QR Code*. Estes materiais podem ser encontrados na tabela 1.

Tabela 1 - Tabela com materiais levantados em trabalho de Yen Cheng

Item	QTD.	Valor Total	Descrição	Valor Unitário
Leitor QR Code	2	R\$ 1.408,34	Leitor de Código de Barra; 1d e 2d, Tipo Manual Com Suporte de Mesa; Com Gatilho, Emissão de Bipes de Leitura; Feixe de Leitura: Laser Visível de 650 Nm; Tensão de Alimentação 5 Vcc; Interface Usb; Velocidade de Leitura Mínima de 100 Leituras Por Segundo; Distância de Leitura Máxima de 20 Cm; Área de Leitura 38,4 Graus Horizontal x 24,9 Graus Vertical; Medindo Aproximadamente 110 x 60 x 160 Mm; Com Cabo de Tamanho Mínimo de 1,5 M; Resolução Mínima de 750 x 480 Pixels para 2d e para Código de Barras	R\$ 704,17

Resolução Mínima de 5 Mil; Garantia de 12 Meses Ou Mais.

Impressora QR Code	1	R\$ 983,00	Impressora Térmica; Impressão de Etiquetas para Controle Patrimonial, código de Barras 1d e 2d ; Impressora de Etiqueta Térmica ; Largura Mínima de Impressão 104 Mm; Largura do Papel: 127 Mm ; Velocidade Mínima de 76 Mm/s ; Resolução Mínima de 203 Dpi ; Térmica Direta e Transferência Térmica ; Interface Usb; Memória Dram: 8mb e Flash:4mb ; 1d: Upc-a, Upc-e, Ean-8, Ean-13, Itf25, C39, Hbic, Codabar, 128, 93, Upc2, Upc5, Post25(china) ; Ucc/ean, Matrix 25, Postnet 2d: "pdf417", Maxicode, "QR Code" ; Prazo de Garantia Mínimo de 12 Meses ; 3 Meses para Cabeça de Impressão.	R\$ 983,00
Tela touch screen	3	R\$ 5.150,70	Monitor de Vídeo Policromático, Lcd Com Touchscreen 15"	R\$ 1.716,90

Fonte: adaptado de Cheng (2016)

Além desses materiais listados, Cheng (2016) também sugeriu o uso de bancadas e gavetas – ou *bins* - para armazenamento de peças e para a atividade de montagem propriamente dito, somado a um dimensionamento dessas bancadas tendo como base detalhes e características de bancadas da marca Trilogic. Como colocado por Cheng (2016), essas bancadas são reguláveis, e um modelo adequado de montagem delas pode ser encontrado na figura 14.

Figura 14 - Modelo de bancada sugerido para a Fábrica do Futuro



Fonte: Cheng (2016)

Um dos grandes resultados do trabalho da Yen Cheng que seria utilizado para a condução desse projeto foi ter as bancadas e estantes, os materiais da tabela 1 e computadores já comprados.

Em paralelo com essas atividades descritas nessa seção, foi feito também o levantamento de tecnologias, materiais e limitações que fariam parte da Fábrica do Futuro POLI, que será relatado com mais detalhes na seção a seguir, seção 4.2.

4.2 Mapeamento de tecnologias, materiais e limitações

Nessa fase o objetivo é entender quais tecnologias poderiam ser empregadas na Fábrica do Futuro POLI, assim como quais outros materiais podem ser necessários e também algumas possíveis limitações que estão inerentes à implementação da fábrica.

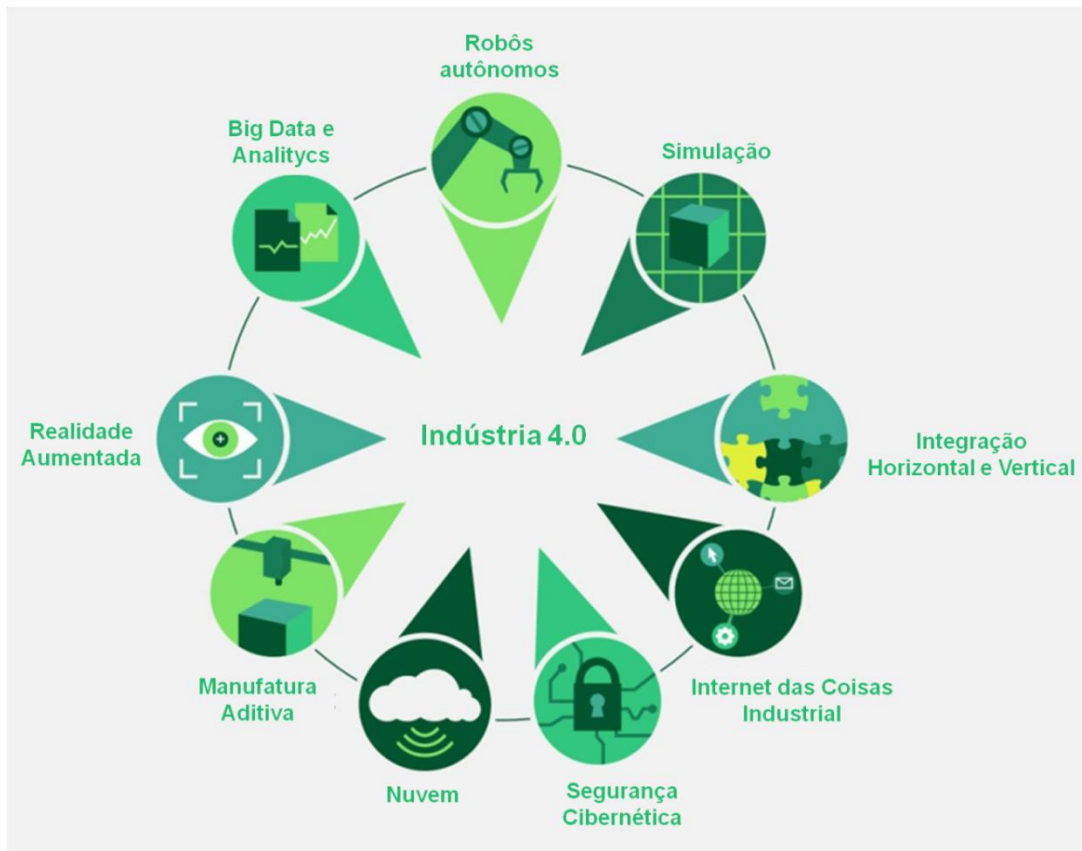
4.2.1 Tecnologias

Como explicado na seção 3, seção de Metodologia, o levantamento de tecnologias teria início primeiro com a definição de tecnologias que representam a Indústria 4.0. Para isso, foi utilizado como base o que disse Rüßmann et al. (2015), que definiu 9 grandes dimensões da Indústria 4.0:

- Robôs Autônomos;
- Simulação;
- Integração Horizontal e Vertical;
- Internet das Coisas Industrial;
- Segurança Cibernética;
- Nuvem;
- Manufatura Aditiva;
- Realidade Aumentada;
- e Big Data e Analytics.

Essas dimensões são ilustradas na figura 15 abaixo.

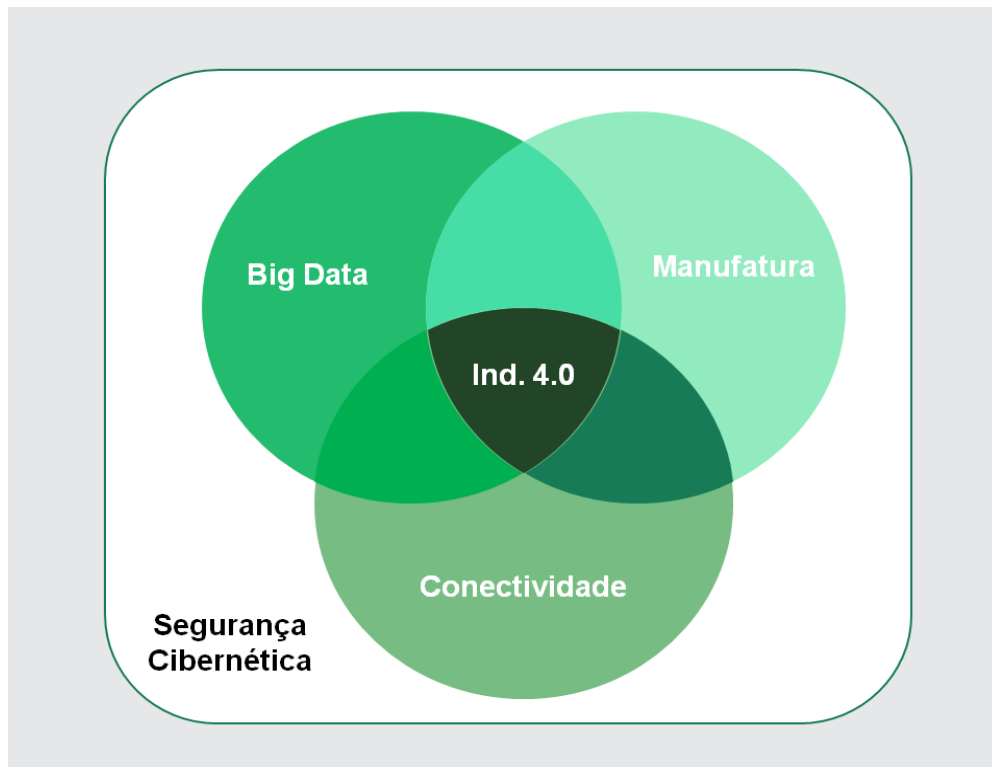
Figura 15 - 9 dimensões da Indústria 4.0 definidas pela consultoria The Boston Consulting Group



Fonte: Adaptado de <https://www.bcg.com/en-br/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>, acessado em 23/10/2017, às 9h31

A partir dessas dimensões, foram definidas 3 grandes áreas que, em sua intersecção, se encontra uma representação da Indústria 4.0. Também se baseando nas 9 dimensões expostas por Rüßmann et al. (2015), foram definidas tecnologias da Indústria 4.0 que cada uma dessas grandes áreas engloba. As 3 grandes áreas são: Big Data, Manufatura e Conectividade. Essas 3 grandes áreas acabam permeadas por uma tecnologia específica da Indústria 4.0, a Segurança Cibernética. Um esquema ilustrando as 3 pode ser visto na figura 16 abaixo, e as tecnologias e sua respectiva grande área estão listadas no quadro 4 a seguir.

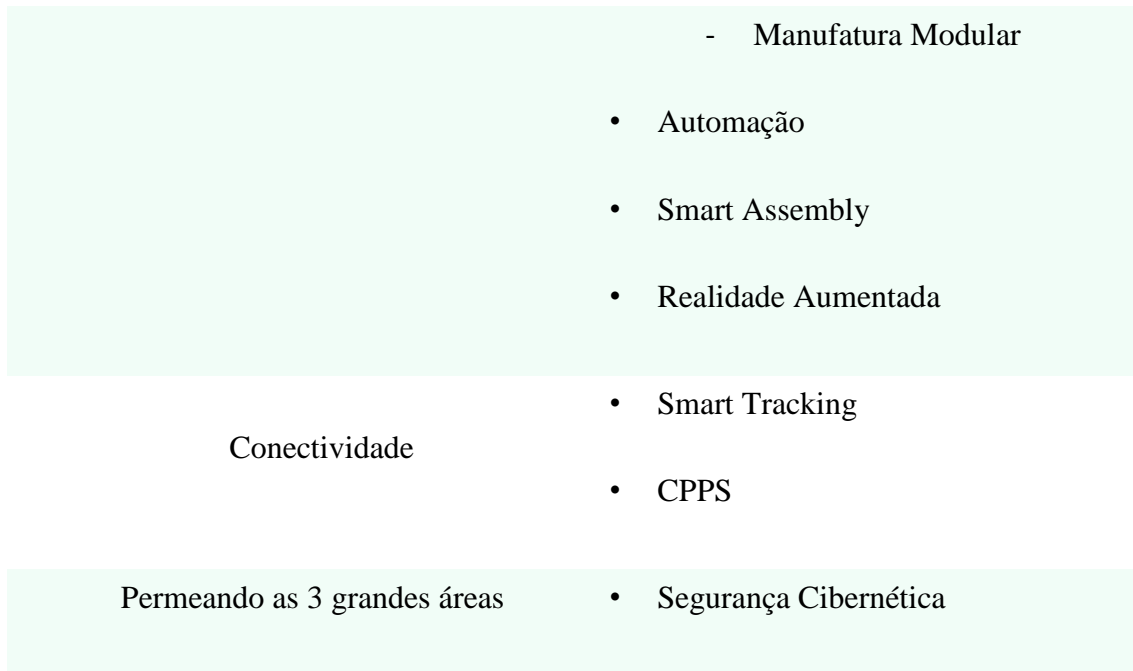
Figura 16 - Grandes áreas que compõe a Indústria 4.0



Fonte: Composição própria

Quadro 4 - Tecnologias definidas da Indústria 4.0

Grandes áreas da Indústria 4.0	Tecnologias
Big Data	<ul style="list-style-type: none"> • Internet das Coisas • Analytics • Nuvem • Inteligência Artificial
Manufatura	<ul style="list-style-type: none"> • Modularidade do Produto • Manufatura Flexível <ul style="list-style-type: none"> - Manufatura Aditiva - Manufatura Distribuída



Fonte: adaptado de Rüßmann et. al (2015)

Internet das Coisas, como já definido na seção 2.1.1.2, engloba 3 diferentes pontos, como coloca Miorandi apud Silva (2015):

- à rede que conecta objetos através da internet;
- ao conjunto de tecnologias necessárias para criar essa interface, como sensores, por exemplo;
- ao conjunto de aplicações e serviços que permitem que essas tecnologias abram novos negócios e oportunidades de mercado.

Já o Analytics representa todo o processamento de dados, no caso o Big Data, e, segundo Rüßmann et al. (2015), representa a otimização da qualidade da produção, a economia de energia e a melhora da manutenção dos equipamentos da fábrica. No cenário da Indústria 4.0, o Analytics será visto como o padrão para suporte de tomada de decisões em tempo-real.

A Nuvem é uma tecnologia já presente e usada hoje pelas empresas, mas no âmbito da Indústria 4.0, ela será usada para suporte de operações de produção, o que vai pedir por um compartilhamento de dados mais intenso entre websites e também entre diferentes setores das empresas. (RÜßMANN et al., 2015)

A tecnologia de Inteligência Artificial será considerada aquela que permite que máquinas e sistemas operem de maneira inteligente, em que possam aprender e tomar ou sugerir decisões de maneira independente. Ou seja, nessa tecnologia serão consideradas sub-tecnologias como *Machine Learning* e Redes Neurais Artificiais, por exemplo.

A tecnologia de Modularidade do Produto vai ser vista como aquela em que permite uma customização do produto pelo consumidor final quando este faz o pedido, como colocado por ElMaraghy e ElMaraghy (2015) em artigo que relatam funcionalidades de uma fábrica de ensino específica, onde é permitida a customização e personalização do produto.

O conceito de manufatura flexível envolve diferentes tecnologias de manufatura que podem ser encontradas dentro da Indústria 4.0, e as definidas para a condução desse trabalho são a Manufatura Aditiva, a Manufatura Distribuída e a Manufatura Modular.

A Manufatura Aditiva, como já colocado na seção 2.2.2, é a tecnologia de manufatura onde a peça ou produto produzido é concebido pela sobreposição de camadas do material que o compõe. Dessa forma, pode-se dizer que camadas 2D são sobrepostas de modo a formar um produto final, esse 3D (S. ROMMEL E A. FISCHER, 2013).

Já a Manufatura Distribuída, que também já foi abordada anteriormente - na seção 2.2.1 - é aquela que, segundo Khajavi, Partanen e Holmström (2014) apud Durão et al. (2017), é feita em diferentes fábricas, ao invés de se ter uma única fábrica centralizada que responde por toda a produção e atendimento de todas as geografias com demanda. A Manufatura Distribuída permite um atendimento mais próximo do cliente final, já que diferentes fábricas compõe o sistema de manufatura, e os produtos conseguem ser produzidos na própria geografia de onde se vem a demanda.

Por fim, a Manufatura Modular será considerada como aquela que permite uma linha de produção flexível, que acaba permitindo aos gestores diferentes configurações da linha de produção de acordo com as necessidades da fábrica e de produção.

A tecnologia de Automação será vista nesse trabalho como aquela em que permite que ferramentas, máquinas e componentes da fábrica realizem tarefas mecânicas de maneira independente, ou seja, sem a necessidade do homem para operá-las. Mesmo sendo uma tecnologia anterior à Indústria 4.0, ela se coloca como extremamente relevante para que essa nova revolução industrial continue.

Smart Assembly pode ser definida como aquela tecnologia que garante uma montagem otimizada, fazendo uso de recursos para tal. Essa tecnologia pode ser intimamente ligada com outras da Indústria 4.0, de forma a fazer da linha de montagem cada vez mais eficiente.

Realidade aumentada, de acordo com Rüßmann et al. (2015), é a tecnologia que dá suporte aos funcionários da fábrica nas tomadas de decisão e nos procedimentos de produção através do fornecimento de informações em tempo-real. A maneira como esse suporte pode ser dado é através de dispositivos, como óculos ou tablets, que proporcionam ao usuário uma experiência de expansão da realidade. O usuário pode, por exemplo, receber a instrução de montagem de determinado produto no próprio óculos, enquanto está vendo o produto real.

O Smart Tracking é considerada nesse trabalho como a tecnologia que permite o rastreamento inteligente dentro da fábrica. Esse rastreamento, podendo ser tanto de produtos quanto de pessoas, permite saber a localização em tempo-real do componente ou usuário da fábrica. Um dos exemplos de tecnologia que viabiliza o Smart Tracking é o tag RFID.

O CPPS, como foi visto na seção 2.1.1.1, é um sistema que permite a troca de informação e o controle de tarefas entre unidades CPS de uma maneira cooperativa, como colocou o E-nnovation Germany apud Aguiar et al. (2015). E a definição de CPS, de acordo com Esterle e Grosu (2016), faz referência a sistemas que conectam o mundo físico ao mundo virtual por meio de sensores e atuadores que os compõe. É importante salientar que para o seguimento do processo definido para este trabalho, a tecnologia CPS será tratada dentro da tecnologia CPPS, sendo por isso que não serão vistas como tecnologias diferentes.

De acordo com Rüßmann et al. (2015), a tecnologia de Segurança Cibernética é aquela que garante uma comunicação segura e confiável, assim como uma gestão sofisticada do acesso à informação no meio cibernético. O aumento da conectividade e do uso de protocolos padrão para comunicação que a Indústria 4.0 traz faz crescer a necessidade de proteção dos sistemas industriais e das linhas de manufatura.

Definidas as tecnologias da Indústria 4.0 que iriam fazer parte da base teórica do trabalho, foi feito então o levantamento de demonstradores em diversas fábricas de ensino no mundo através das conferências CLF do CIRP.

Porém, antes de dar início a tal levantamento, era sabido que, pelo fato das CLFs terem um foco em fábricas de ensino - e não em Indústria 4.0, apesar desse tema estar cada vez mais presente nas últimas edições da conferência - muitas delas também apresentariam demonstradores de outros conceitos que fossem externos à Indústria 4.0. Para garantir um levantamento exaustivo de demonstradores, estes também foram incluídos no mapeamento. Os conceitos que foram encontrados em outras fábricas de ensino e que não estão diretamente inseridos na Indústria 4.0 foram:

- Processos intralogísticos;
- Produção Lean;
- Controle de Qualidade;
- Representação Virtual.

Os chamados Processos Intralogísticos, de acordo com Nagel, Roidl e Follert (2008), são aqueles que englobam todos os sistemas e serviços técnicos, e todas operações relacionadas com a movimentação de materiais interna à planta.

Já a Produção Lean, como coloca Burggraef et al. (2017), é aquela que foca em atividades de criação de valor enquanto busca evitar e reduzir desperdícios, o que acaba por aumentar a produtividade da fábrica. Liker (2004) apud Burggraef et al. (2017) também cita os 8 tipos de desperdícios, sendo eles a superprodução, o tempo de espera, o transporte, o estoque, a movimentação, os defeitos, a criatividade não usada e o superprocessamento.

O conceito de Controle de Qualidade, de acordo com a cláusula 3.2.8 e 3.2.10 do relatório 9000:2005, sobre padrões de sistemas de gestão da qualidade da ISO (International Organization for Standardization), são atividades cujo objetivo é a garantia do cumprimento de requerimentos da qualidade. Essas atividades, então, fazem parte da gestão da qualidade da organização.

Por fim, a Representação Virtual foi considerada nesse projeto como a tecnologia que permitia a reprodução de uma versão digital da fábrica. Vale ressaltar que a tecnologia de CPPS as vezes também conta com tal representação, porém implica que essa esteja conectada com o ambiente físico da fábrica, de modo que mudanças em qualquer uma das duas versões afete automaticamente a outra.

Com esses conceitos definidos, foi dado início ao levantamento de demonstradores nas fábricas de ensino pelo mundo, através de artigos das Conferências de Fábrica de Ensino (CLF) do CIRP.

Até 2017, houveram sete edições das conferências CLF, cada uma contando com uma coletânea de artigos. Para o levantamento de demonstradores, foram usadas as coletâneas das edições 5^a, 6^a e 7^a, já que essas são todas as edições da conferência que têm seus artigos disponíveis online. Os anais da 1^a, 2^a, 3^a e 4^a edições só apresentam versões impressas e não foram consideradas para esse levantamento. Porém, vale ressaltar que, apesar da pequena amostragem, percebeu-se um maior número de artigos relacionados à Indústria 4.0 nas edições mais recentes da CLF, visto que essa tendência ainda vem ganhando relevância. Isso sugere que as coletâneas passadas tivessem um foco menor nesse conceito, que é o foco principal desse levantamento.

Dessa forma, é possível encontrar nas tabelas 39 a 50, situada no apêndice, os 77 demonstradores levantados, as fábricas de ensino a que pertencem, assim como as tecnologias que cada um deles demonstra. Ainda, no final da tabela existe uma contagem do número de vezes em que cada tecnologia foi encontrada, assim como um ranking de tecnologias de acordo com essa contagem, de forma a possibilitar a identificação daquelas mais recorrentes. Essa contagem e ranking podem ser vistas de maneira separada na tabela 2. Uma versão condensada da tabela, constando apenas as fábricas de ensino e as tecnologias presentes em cada uma delas pode ser encontrada nas tabelas 3 e 4.

Tabela 2 - Contagem de aparições de tecnologias e ranqueamento das mais recorrentes

Tecnologias	Contagem	Ranking
CPPS	29	1
Automação	18	2
Smart tracking	14	3
Smart Assembly	11	4
Internet das Coisas	10	5
Manufatura Aditiva	10	5
Produção Lean	8	7
Manufatura Modular	7	8
Processo logístico	7	8
a Nuvem	5	10
Inteligência Artificial	4	11

Big Data	4	11
Tecnologias de Controle de Qualidade	3	13
Modularidade de produto	3	13
Manufatura Distribuída	2	15
Realidade aumentada	2	15
Representação virtual	2	15

Fonte: Composição própria

A coluna de tecnologias tem aquelas específicas da Indústria 4.0 destacadas em verde. Mais a direita, é possível ver as tecnologias melhores rankeadas também destacadas, mas em um tom diferente de verde.

Seguindo essa lógica, nota-se que as tecnologias mais frequentes em demonstradores das fábricas de ensino analisadas foram, nessa ordem:

- CPPS;
- Automação;
- Smart Tracking;
- Smart Assembly;
- Internet das Coisas e Manufatura Aditiva, empatados em 5º lugar.

Tabela 3 - Fábricas de ensino e tecnologias que demonstram. Parte 1/2

Fábrica de Ensino	Tecnologias								Processo logístico
	Smart Assembly	Internet das Coisas	CPPS	Manufatura Aditiva	Manufatura Distribuída	Manufatura Modular	Automação	Smart tracking	
aIE at IFF			x						
AM model factory at Auf AEG				x					
AutFab	x	x	x			x	x		
Auto flex	x						x		
Automotive final assembly line								x	
Autronica	x						x		
CiP									
CubeFactory			x	x					
Demonstration Factory at RWTH Aachen	x		x					x	
ESB LLF	x	x	x	x		x	x	x	x
GKA Aerospace Norway			x						
Green Factory AUGSBURG				x	x				
Green Factory Bavaria in Augsburg		x		x	x				
IE-Training Center						x			
IFA Learning Factory at Leibniz Universität Hannover			x			x			x
Lean Learning Factory at University of Split	x		x					x	
Lean Manufacturing Laboratory at University of Luxembourg								x	
Learning Factory at the IMS Center, University of Windsor	x		x			x		x	
Learning Factory BERTHA									
Learning Factory on Global Production at KIT					x	x	x		
LF Velbert/Heiligenhaus of the Bochum University			x						
LPS Learning Factory	x		x						
LRE at Ruhr-University of Bochum			x						
MTA SZTAKI			x	x			x	x	
Study Factory at IPS	x						x		x
The PuLL Learning Factory							x	x	x
TU Braunschweig - Die Lernfabrik				x					
TU Graz LeanLab									x
TU Wien Learning and Innovation Factory						x	x		x
University of Paderborn			x						
MSPL									

Fonte: Composição própria

Tabela 4 - Fábricas de ensino e tecnologias que demonstram. Parte 2/2

Fábrica de Ensino	Tecnologias							
	Nuvem	Inteligência Artificial	Big Data	Produção Lean	Tecnologias de Controle de Qualidade	Realidade aumentada	Modularidade de produto	Representação virtual
aIE at IFF								
AM model factory at Auf AEG								
AutFab					x			
Auto flex								x
Automotive final assembly line								
Autronica								
CiP				x	x			
CubeFactory								
Demonstration Factory at RWTH Aachen						x		
ESB LLF	x	x	x					
GKA Aerospace Norway	x							
Green Factory AUGSBURG		x						
Green Factory Bavaria in Augsburg			x				x	
IE-Training Center								
IFA Learning Factory at Leibniz Universität Hannover				x				
Lean Learning Factory at University of Split				x			x	
Lean Manufacturing Laboratory at University of Luxembourg				x				
Learning Factory at the IMS Center, University of Windsor		x					x	x
Learning Factory BERTHA				x				
Learning Factory on Global Production at KIT								
LF Velbert/Heiligenhaus of the Bochum University								
LPS Learning Factory	x		x			x		
LRE at Ruhr-University of Bochum								
MTA SZTAKI								
Study Factory at IPS								
The PuLL Learning Factory				x				
TU Braunschweig - Die Lernfabrik								
TU Graz LeanLab				x				
TU Wien Learning and Innovation Factory								
University of Paderborn	x							
MSPL	x							

Fonte: Composição própria

As tabelas 3 e 4 focam em mostrar quais tecnologias estão demonstradas em diferentes fábricas de ensino, assinaladas com um “x”. Porém, vale ressaltar que uma mesma fábrica

pode conter mais de um demonstrador que engloba tais tecnologias, fazendo com que a contagem de tecnologias dessas tabelas não reflita os resultados da tabela 2. Essa está relacionada com as tabelas 39 a 50 do apêndice, que listam não apenas as fábricas, mas sim cada demonstrador delas.

4.2.2 Materiais

Para suporte ao funcionamento da Fábrica do Futuro POLI, alguns materiais foram pensados e levantados como passíveis de incorporação, considerando já aqueles levantados por Cheng (2016).

Olhando para a linha de produção, um material chave que seria necessário para ela funcionar seria as peças de skate. Como suporte para o armazenamento de tais peças, seriam necessários recipientes e também bancadas para que esses recipientes pudessem ser apoiados e o skate montado.

Outro componente que viria a ser útil na fábrica são computadores, equipados com telas *touch screen*. Eles permitiriam o acesso a alguma possível interface com algum demonstrador e apoiariam na montagem do skate, além de dar suporte para outras operações que possam não estar diretamente ligadas à linha de produção.

Além disso, agora com um foco no espaço da fábrica mais do que para a linha de produção, mesas e cadeiras seriam necessárias para acomodar aqueles que visitarem e usarem a fábrica.

À parte das tecnologias, uma lista com os materiais que foram sondados para auxiliar no andamento da fábrica foi feita:

- Peças de skates;
- Bancadas;
- Estantes;
- Caixas ou gavetas;
- Computadores;
- Telas *touch screen*;

- Mesas;
- e Cadeiras.

4.2.3 Limitações

Após o levantamento de possíveis tecnologias e materiais que poderiam ser incorporados na Fábrica do Futuro POLI, foi feito um maior entendimento de limitações que o projeto enfrentaria.

Como planejado, a principal maneira para a identificação de possíveis limitações foi a realização de contatos com pessoas envolvidas no projeto principal. Os principais contribuidores nessa atividade foram o Prof. Dr. Eduardo Zancul e o doutorando Luiz Durão, dada a participação deles no projeto inicial assim como a experiência que já tinham com a montagem de outro laboratório filiado ao Departamento, o INOVALAB@POLI.

A partir dessas conversas, foram levantadas duas grandes limitações: uma referente ao local de localização da Fábrica do Futuro; e a outra referente à verba disponível para financiamento do projeto.

Sobre a limitação de local, o principal problema é a data para disponibilização do espaço, inicialmente previsto para o final de 2017 mas com indícios de que só estaria pronto no começo de 2018. Dessa maneira, dado interesses – tanto do time de projeto quanto de possíveis parceiros externos - para se ter uma fábrica com tecnologias da Indústria 4.0 em funcionamento, alguma alternativa para contornar essa situação começou a ser pensada.

Sobre a limitação financeira, foi entendido que esse é um problema recorrente com projetos e pesquisas que ocorrem na USP. Dessa forma, tentativas de manter o orçamento o menor possível aconteceriam sempre que possível.

Tendo isso destacado, vale ressaltar que é possível que outras limitações possam surgir, e que pode também ser o caso de algumas dessas limitações acabarem sendo de menor proporção do que o esperado ou até mesmo não se provarem.

4.3 Definição de características da fábrica

Depois de se aprofundar em tópicos fundamentais para a concepção da Fábrica do Futuro, de entender o que já havia sido feito do projeto e de também mapear quais tecnologias, materiais e limitações atreladas à implementação da fábrica poderiam estar presentes, foi feita a definição sobre as características gerais da Fábrica do Futuro POLI.

4.3.1 Definição do local da Fábrica




O primeiro ponto a ser definido se deu muito por uma das limitações colocadas anteriormente na seção 4.2.3, quanto ao local da Fábrica. Como explicitado na seção, o local destinado para a Fábrica do Futuro ainda levaria tempo para estar disponível para a implementação dela, levando a definição de um local provisório. Nesse local provisório seria montada uma **versão beta da Fábrica do Futuro POLI**, para atender de maneira mais ágil a demanda por resultados do projeto, essa vinda de empresas interessadas e da mídia.

Dessa forma, o local definido para a versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI foi uma das salas do espaço Ocean, espaço esse estruturado e localizado no próprio prédio da Engenharia de Produção.

4.3.2 Definição do conceito da Fábrica do Futuro

Como explicitado na seção 4.1, já era sabido que o produto-exemplo da Fábrica do Futuro POLI seria um skate e que a ela teria um foco na montagem desse produto-exemplo. Assim, foram definidas quais seriam as peças que iriam compor esse produto, que podem ser vistas no quadro 5 a seguir.

Quadro 5 - Peças que irão compor o produto final

Peças do skate	Ilustração
Prancha	
Truck	
Rodas	
Caixa de Conectividade	

Fonte: <https://www.monstersports.com.br> acessado em 29/10/2017 às 21h21 e <http://www.robotshop.com/en/box-arduino.html> acessado em 29/10/2017 às 21h30

Prancha, *truck* e rodas são peças convencionais de um skate, porém a caixa de conectividade é algo inovador que merece uma explicação de suas funcionalidades. O intuito

de se adicionar uma caixa de conectividade ao skate seria de fazer do uso do skate uma atividade conectada e inteligente. Essa caixa de conectividade seria um aparelho inteligente, conectado à internet, responsável por prover informações e análises para auxílio no uso do skate no dia-a-dia e também na prevenção e manutenção de defeitos de peças do skate. Essas informações e análises seriam da natureza de, por exemplo, sugestão de horário para a saída de casa visando apanhar um ônibus que sai em horário específico, tomando como base a velocidade média da locomoção com o skate; ou mesmo um sinal para encomenda de uma nova roda, visto que ele prevê quando uma delas irá se desgastar ao ponto de ficar inutilizável. Tudo isso seria possível pois esse dispositivo seria desenhado para ser capaz de captar diversos dados provenientes do uso do skate, tais como velocidade e balancimento do skate, por exemplo.

Nessa etapa também foi definido que, além da montagem, poderia ser o caso de a Fábrica do Futuro POLI ser responsável pela fabricação da caixa de conectividade, mas que isso iria depender da escolha de demonstradores que iriam integrar a fábrica.

4.3.3 Definição das tecnologias e demonstradores

Com o local e conceito definidos, o próximo passo tomado foi a definição de quais tecnologias da Indústria 4.0 iriam compor a fábrica. Além de analisar quais foram as tecnologias da Indústria 4.0 mais frequentes em outras fábricas de ensino, foi feita também uma outra análise considerando o cenário brasileiro para que a seleção das que integrariam a Fábrica do Futuro POLI também levasse em consideração particularidades do país local.

De acordo com a tabela 2 de demonstradores e tecnologias, é possível notar que as tecnologias de CPPS, Automação, Smart Tracking, Smart Assembly, Manufatura Aditiva e Internet das Coisas foram as mais recorrentes, o que mostra que essas são as tecnologias que tem tido mais foco nas fábricas de ensino pelo mundo.

Considerando particularidades do cenário brasileiro, tecnologias como a Manufatura Distribuída se destaca. Isso pelo fato de o Brasil ser ainda um país majoritariamente importador de produtos industrializados, já que multinacionais estrangeiras acabam ainda por enviar seus produtos produzidos em uma matriz para outras geografias onde existe também

demanda. A Manufatura Distribuída permitiria o desenvolvimento industrial do país, visto que possibilitaria a produção em solo brasileiro dos produtos dessas multinacionais, porém ainda garantindo a elas o controle virtual da produção.

Como resultado dessas duas considerações, foi definido que as tecnologias a serem empregadas seriam as de CPPS, Automação, Smart Tracking, Smart Assembly, Manufatura Aditiva e Internet das Coisas, além da Manufatura Distribuída.

Definidas as tecnologias que serão demonstradas pela Fábrica do Futuro POLI, o próximo passo foi entender quais soluções tecnológicas e recursos estavam disponíveis e quão fácil seria o acesso para que posteriormente fosse possível estruturar os demonstradores.

Como foi colocado na seção 3.4, isso aconteceria por meio de 3 fontes: fornecedores de soluções tecnológicas que são parceiros do Departamento; recursos já disponíveis no Departamento que poderiam integrar algum demonstrador; e recursos necessários para algum demonstrador que ainda não estão disponíveis e precisariam ser comprados.

Seguindo essa lógica, a primeira fonte explorada foi a de empresas parceiras. Assim, as empresas parceiras que mostraram potencial de atender às necessidades de alguns demonstradores e que, portanto, tiveram as suas tecnologias mapeadas foram a DEV Tecnologia e a Mvisia.


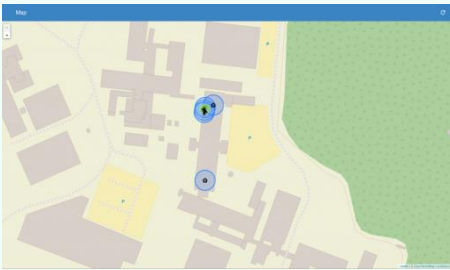
Segundo seu próprio site, “a DEV Tecnologia é uma parceira de tecnologia que oferece soluções completas para desenvolvimento de novos produtos tecnológicos e para Internet das Coisas (*Internet of Things*)”. Eles possuem “três áreas de atuação: soluções completas de *Internet of Things*, desenvolvimento de produtos tecnológicos desde a análise de requisitos até a produção, e projetos sob medida de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&DI)”. A empresa surgiu no CIETEC (Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia), núcleo localizado dentro da USP (Universidade de São Paulo) e, como colocam no próprio website, a empresa é uma *spin off* da Escola Politécnica da USP.

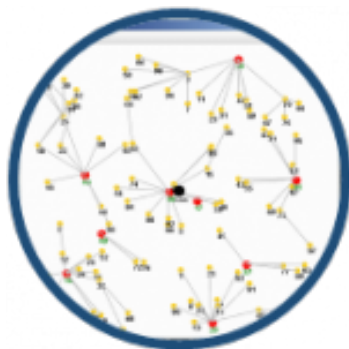
A Mvisia é uma empresa que também fornece soluções de tecnologia que, de acordo com seu próprio site, são voltadas para a automação de processos e para o controle de qualidade. Assim como a DEV, a empresa também surgiu no CIETEC e também foi formada por engenheiros formados na Escola Politécnica da USP.

Para um primeiro contato com essas duas empresas, foram disponibilizados os e-mails de representantes da DEV e Mvisia. A partir desse contato via e-mail, outras interações aconteceram para a apresentação das tecnologias que essas empresas conseguiriam fornecer.

Com relação a DEV, a diretora de operações da empresa, e o contato para levantamento das tecnologias que a DEV poderia fornecer aconteceu primeiramente por telefone. Nessa ligação foi colocada qual era a ideia inicial do projeto, e a diretora comentou sobre as tecnologias que a DEV possuía. Em seguida, foi enviado pela DEV apresentações comerciais com um maior detalhamento das tecnologias. As tecnologias que foram passadas pela empresa podem ser vistas no quadro 6.

Quadro 6 - Tecnologias fornecidas pela DEV Tecnologia

Tecnologias DEV	Ilustração	Descrição
<p>Dev Beacon</p>		<p>“Pequenos dispositivos estrategicamente localizados, capazes de detectar a presença e comportamento humano por meio de tecnologia de proximidade, gerando ações inteligentes pré-programadas e proporcionando experiências únicas no local e momento ideais.”</p>
<p>Dev Track</p>		<p>“DEV Track é um sistema de rastreamento desenvolvido pela DEV Tecnologia, projetado para fornecer e manter um registro da localização precisa de itens e pessoas em ambientes fechados, onde o uso de GPS não é possível.”</p>

IoT/M2M

Sistema composto por “sensores e hardwares dos dispositivos conectados até o software de aplicação em nuvem acessado pelo usuário.”

Fonte: www.devtecnologia.com.br, acessado em 10/10./2017 às 14h37.

Assim como a DEV, o segundo contato com a Mvisia foi por telefone, sendo a pessoa contatada o sócio administrador da Mvisia. Com o ele, foi marcada então uma reunião na Escola Politécnica para um breve explicação sobre o projeto da Fábrica do Futuro e para a apresentação da tecnologia com que a Mvisia trabalha. Essa tecnologia também pode ser vista no quadro 7.

Quadro 7 - Tecnologias fornecidas pela Mvisia

Tecnologias Mvisia	Ilustração	Descrição
Máquina Seletora de Mudas	Uma ilustração de uma máquina seletora de mudas. A máquina é branca com detalhes em verde e azul. Possui uma abertura superior para inserir mudas e uma saída inferior com uma esteira transportadora. O nome 'MVISIA' está visível na parte inferior da máquina.	<p>“A máquina faz uma fotografia da muda para uma análise baseada em imagem. O processamento da imagem permite que a máquina extraia diversas características das mudas, tais como: tamanho, espessura, área foliar e cor. O uso desse conjunto de características permite uma classificação mais</p>

precisa da muda”.

**Calibradora
Eletrônica -
Tomates**



“Nossas máquinas contam com um avançado sistema de visão computacional, desenvolvido com as mais modernas técnicas de processamento de imagem e câmeras industriais, o que garante uma classificação rápida e precisa, chegando a classificar até 90.000 tomates por hora.”

**Classificadora
Vertical
Compacta**



“Desenvolvida em formato vertical, a máquina usa um sistema de escovas em helicóide, que faz aumentar a eficiência de limpeza. Após serem polidos pelo sistema de escovas, os frutos são selecionados conforme seu calibre por um

sistema de rolos
espaçados.”

Fonte: www.mvisia.com.br, acesso em 16/10/2017 às 17h02.

Uma vez mapeadas as soluções tecnológicas dessas duas empresas, foi feito também um primeiro mapeamento de alguns recursos que já estavam disponíveis no Departamento da Engenharia de Produção e que poderiam ser incorporados a algum demonstrador da Fábrica do Futuro POLI.

O grande resultado desse mapeamento foi a inclusão de uma das impressoras 3D que compunham o INOVALAB@POLI na lista de possíveis recursos a serem empregados. Um maior detalhamento sobre especificidades da impressora podem ser encontrado na tabela 5.





Tabela 5 - Especificidades da impressora 3D.

Modelo	Ilustração	Descrição
3D Cloner ST		<p>Tamanho: 505mm (largura), 420mm (profundidade), 425mm (altura).</p> <p>Dimensão de impressão (área útil): 320mm (largura), 210mm (profundidade), 160mm (altura).</p> <p>Peso: 19kg</p> <p>Diâmetro do filamento: 1,75mm</p> <p>Temperatura Máx. Exaustor: 280°C</p> <p>Elétrica: 127/220v; 068/0,42^a; 24V/5A; 90W</p> <p>Software Impressão: ClonerGen3D</p> <p>Sistema Operacional: Windows</p>

Fonte: http://www.3dcloner.com.br/detalhes_produto/2/3dcloner_st.html acessado em 31/10/2017 às 19h35

Finalmente, além desses recursos identificados, também foram pensados outros que poderiam ou precisariam ser integrados nos demonstradores da Fábrica do Futuro POLI. Aqui também foram considerados alguns recursos que já haviam sido levantados por Cheng (2016). Estes recursos se encontram listados no tabela 6, a seguir.

Tabela 6 - Outros recursos levantados que poderiam integrar algum demonstrador

Recurso	Ilustração	Tecnologia Representada	Fontes
RFID		Smart Tracking	http://www.enthentica.com/rfid-tags/
QR Code		Smart Tracking	http://www.qr-code-generator.com/
Aplicativo para pedidos		Modularidade do Produto	https://www.pcmag.com/review/353387/google-app-maker
Leitores/ Scanners		Smart Tracking	http://www.altronix.pt/leitores-codigo-barras-e-terminais

Depois de entendido quais soluções tecnológicas eram providas por empresas parceiras, quais recursos passíveis de incorporação aos demonstradores estavam disponíveis no Departamento e quais outros recursos poderiam ser necessários para a concepção dos demonstradores, foi detalhado como cada demonstrador seria composto.

Dessa forma, foram pensados 4 demonstradores para que as tecnologias de CPPS, Automação, Smart Tracking, Smart Assembly, Manufatura Aditiva, Internet das Coisas e Manufatura Distribuída fossem representadas. É válido colocar que, em alguns demonstradores, algumas outras tecnologias acabaram sendo demonstradas, além dessas citadas. Isso por algumas delas se fazerem necessárias para o funcionamento de alguns demonstradores, ou pelo fato de serem de simples e prática incorporação a algum deles.

O primeiro deles seria voltado para a demonstração das tecnologias de Smart Tracking e de Internet das Coisas. Já o segundo seria para a demonstração das tecnologias de Modularidade do Produto, Nuvem, Smart Tracking e Smart Assembly. O terceiro demonstrador condensaria algumas tecnologias. Ele representaria as tecnologias de Manufatura Aditiva, Manufatura Distribuída e CPPS. O último demonstrador seria usado para o controle de qualidade de peças do skate e representaria as tecnologias de Automação, CPPS e Inteligência Artificial da Indústria 4.0.

4.3.3.1 *1º Demonstrador*

O primeiro demonstrador, aquele representando as tecnologias de Smart Tracking e Internet das Coisas, contaria com uma solução fornecida pela DEV, mais em específico a DEV Beacon, sendo ele então pensado para 3 possíveis propósitos: para o controle da entrada e saída dos operadores da fábrica; para o controle de entrada e saída de peças da fábrica; para ambos os casos.

Essa demonstrador contaria com alguns componentes, listados abaixo:

- os beacons da DEV - também chamados de tags - que são acoplados tanto no crachá do funcionário quanto no skate, a depender de qual o propósito de uso;
- os receptores de sinais dos beacons, que o fazem por bluetooth;
- o suporte que sustenta os receptores;
- e um computador com software e o algoritmo para a visualização e controle do que é transmitido pelos beacons e receptores.

Esse demonstrador é capaz de alertar se uma peça ou um funcionário entrou ou saiu da fábrica, o que permite um melhor rastreamento dos operadores e também da linha de montagem.

4.3.3.2 2º Demonstrador

Já o segundo demonstrador pensado, responsável por explicar as tecnologias de Modularidade de Produto, Nuvem, Smart Tracking e de Smart Assembly, seria baseado no desenvolvimento de um aplicativo. Dessa forma, a ideia é ter um aplicativo que permita ao "cliente" da fábrica personalizar o seu produto, que no caso é um skate.

Esse aplicativo contaria com duas interfaces. Uma seria voltada para o consumidor final, onde o "cliente" faria a seleção das peças do seu skate pedido, enquanto a outra seria para uso de algum operador da fábrica, que seria o responsável pela montagem do skate.

Em mais detalhes, ao usuário final seria dada as opções de rodas, *trucks* (base que sustenta as rodas e as conecta na prancha do skate), pranchas e caixas de conectividade. Após esses passos, ele preencheria um formulário com dados como nome, contato e endereço para que seja possível a entrega do skate, uma vez que ele esteja montado - vale ressaltar que a versão da fábrica a ser implementada nesse esforço não chegaria a realizar essa entrega, é uma característica com o intuito apenas de demonstrar outra possível funcionalidade que o aplicativo pode fornecer.

Assim que o usuário final termina o seu pedido, este vai para uma base de dados que fica armazenada na nuvem, no Google Drive. Essa base de dados é então acessada pelo operador da fábrica pela tela *touch screen* através da outra interface mencionada, de modo que ele consegue visualizar todas as peças incluídas nos pedidos dos "clientes". Esse acesso acontece pelo escaneamento de seu crachá de identificação, feito com o auxílio do leitor de *QR Code* - capaz de ler não só *QR Code*, mas também códigos de barra padrão e Data Matrix. Com as especificidades do pedido em mãos, o operador poderá então dar início ao processo de montagem.

A fim de garantir um maior controle sobre o processo de montagem e sobre cada peça que deve integrar o pedido do cliente, todas as peças de skate que entrarem na fábrica contarão com um *QR Code* único e estarão catalogadas na base de dados. Assim, ao ter acesso

às peças que deverão ser usadas para a montagem de determinado pedido, a interface do operador irá pedir ao mesmo para que ele escaneie tal peça – usando o mesmo dispositivo usado para a identificação dele - que irá usar na montagem. Com isso feito, o sistema garante que a peça correta será usada na confecção do skate e ao mesmo tempo já consegue dar baixa nela na base de dados localizada na nuvem.

A solução pensada para a construção desse aplicativo foi o uso do App Maker, uma plataforma da Microsoft que permite o desenvolvimento de aplicativos de maneira simplificada, sem exigir conhecimentos avançados de programação.

4.3.3.3 3º Demonstrador

O terceiro demonstrador que integrará a Fábrica do Futuro POLI, que demonstrará as tecnologias de Manufatura Aditiva, Manufatura Distribuída e CPPS, será responsável pela impressão da caixa de conectividade do skate.

Para isso, foi pensado em um sistema que contaria com os seguintes componentes:

- Placa Raspberry Pi;
- Sistema OctoPi;
- Interface Octoprint;
- Impressora 3D;
- Cartão SD;
- Webcam;
- Roteador de sinal Wi-fi;
- Sistema de sensores com arduino.

A placa Raspberry Pi, que funciona como um pequeno computador, é conectada tanto à internet quanto à impressora 3D. Ela ainda possui um cartão SD inserido, com um sistema chamado OctoPi instalado, que é o *host* do software OctoPrint. O OctoPrint é a interface que permite o controle da impressora 3D, possibilitando sua ativação e acompanhamento de dados como temperatura e até mesmo imagem do processo de manufatura caso haja uma webcam instalada – cenário esse pensado para a Fábrica do Futuro. É uma interface que é acessada

pela internet, o que permite o controle remoto das operações da impressora 3D. A impressora 3D também conta com um sistema de sensores que capta dados de vibração e os plota em uma planilha de Excel para que o acompanhamento seja simplificado.

Porém, como a fábrica será instalada dentro da USP e portanto seu acesso à internet é através da rede da universidade, uma barreira tecnológica surge para que um computador de fora da rede tenha acesso à interface de controle OctoPrint devido ao firewall da universidade impedir o acesso através de diferentes portas de rede. As portas de rede, presentes em qualquer dispositivo conectado à internet, representam pontos de acesso e envio de dados. Ou seja, se quer-se acessar a um determinado site, acaba-se usando uma porta do IP do dispositivo acessante para o envio do dado de acesso e uma porta do IP *host* do site para o recebimento desse dado. No caso da USP, a porta padrão para acesso à rede da universidade tem um redirecionamento para sites da própria USP. Assim, instalou-se um novo roteador para o acesso à internet, de modo que fosse possível configurar quais portas seriam usadas para acessar o OctoPrint e um IP público foi atribuído para o acesso ao sistema.

Isso tudo para que fosse possível que pesquisadores na Alemanha fossem capazes de controlar o funcionamento da impressora 3D remotamente, demonstrando a tecnologia de Manufatura Distribuída.

4.3.3.4 4º Demonstrador

Sobre o último demonstrador, que é usado para o controle de qualidade e idealizado para representar as tecnologias de Automação, CPPS e de Inteligência Artificial, ele conta com uma variação de duas das soluções tecnológicas da Mvisia, a Máquina Seletora de Mudas e a Calibradora Eletrônica de Tomates. Isso porque elas apresentam uma tecnologia de seleção através de análise de imagens tiradas dos produtos da linha. Essa adaptação é uma tentativa de trazer essas tecnologias para o campo industrial, já que elas estão focadas hoje no uso em agronegócio.

A ideia da adaptação é usar o mecanismo de captura e análise de imagem, que hoje é usado pela Mvisia para a classificação de mudas e tomates, para o controle de qualidade das peças do skate. Dessa forma, cada peça única passa por um controle de qualidade em que tem

suas medidas tiradas de maneira automática, seguido de um sinal sobre se está em conformidade com as especificações ou não.

Tomando como base os componentes das soluções tecnológicas originais da Mvisia, é esperado que essa adaptação resulte em um demonstrador que seja composto por:

- câmera para captação das imagens das peças;
- estrutura para sustentação da câmera e iluminação;
- esteira para movimentação das peças;
- computador com software e algoritmo que indica conformidade ou não-conformidade.

Com os demonstradores idealizados, o próximo passo foi definir os outros materiais que iriam compor a fábrica.

4.3.4 Definição de outros materiais

Seguindo o levantamento que foi feito na seção 4.2.2, foram definidos quais outros materiais fariam parte da Fábrica do Futuro POLI.

O primeiro material definido e que se coloca como essencial para que a fábrica consiga funcionar são as peças do skate. Como para essa versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI não há ainda o fornecimento das peças por outras fábricas parceiras, as peças que são usadas nos demonstradores são peças compradas. Foi definido que, para garantir diferentes modelos de skate, na fábrica deve haver 3 opções de cada peça.

Além disso, as bancadas e estantes sugeridas por Cheng (2016) também estão incluídas no projeto, de forma que a Fábrica do Futuro POLI conta com duas bancadas e uma estante. Foi definido que a fábrica deve contar também com 4 recipientes para armazenagem das peças.

Ainda, foi estabelecido três computadores integrando a fábrica para apoio aos demonstradores.

Devido o tamanho reduzido e para não atrapalhar a montagem e andamento da fábrica, na versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI não há mesas e cadeiras.

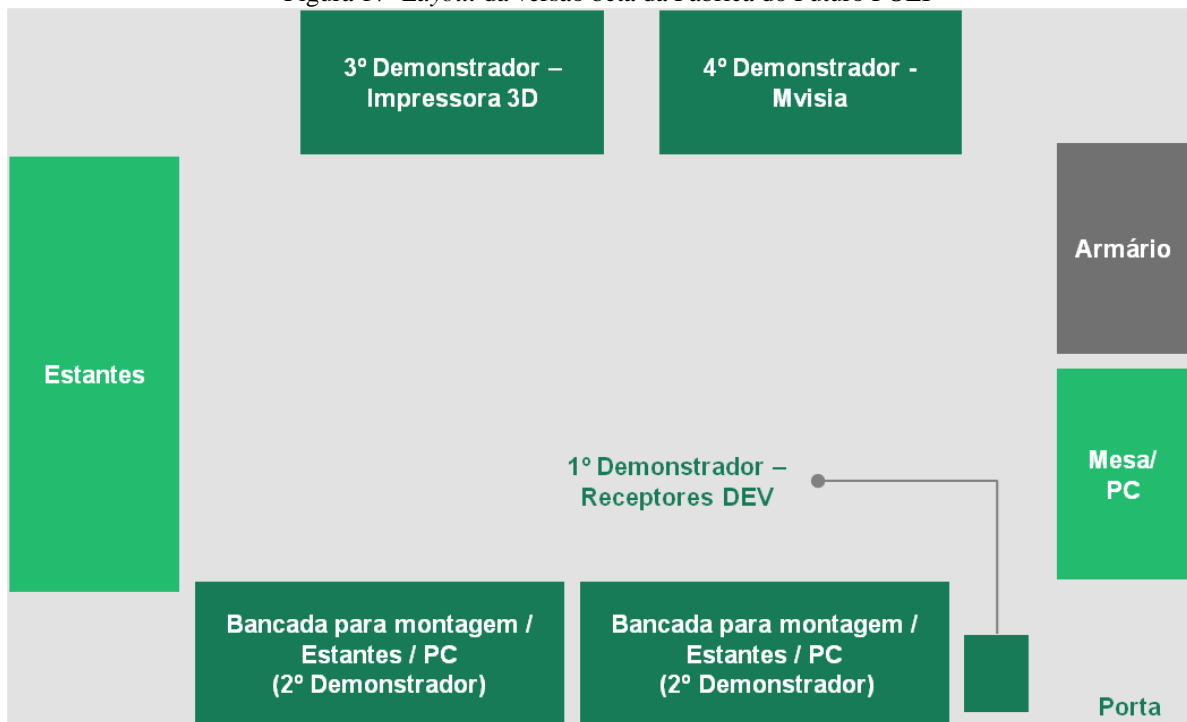
A definição dos materiais para suporte permitiu então que a próxima etapa do projeto se iniciasse, que é sobre a configuração da Fábrica do Futuro POLI.

4.3.5 Definição de *layout*

Tendo os demonstradores e materiais definidos, é possível pensar em qual será o *layout* da Fábrica do Futuro POLI.

Dada a natureza da fábrica, composta por demonstradores que acabam por ter uma finalidade bem definida, o tipo de *layout* escolhido foi o celular. Dessa forma, a Fábrica do Futuro POLI será composta por 3 células, sendo elas formadas pelo 2º, 3º e 4º demonstradores listados na seção 4.3.3. Uma delas será focada na produção da caixa de conectividade, enquanto em outra será feito o controle de qualidade de peças do skate, e por fim haverá uma célula destinada à montagem do skate.

Foi entendido que as principais movimentações dentro da fábrica seriam entre as células de impressão 3D e de controle de qualidade, assim como entre as estantes de armazenamento e a bancada para a montagem do skate. Por isso, o *layout* pensado para a Fábrica do Futuro POLI deixou essas células próximas, como se pode ver na figura 17.

Figura 17- *Layout* da versão beta da Fábrica do Futuro POLI

Fonte: Composição própria

Com todos esses passos definidos, foi possível, então, dar início a fase de Implementação, que será detalhada na próxima seção, a 4.4.

4.4 Implementação

A fase de Implementação é aquela em que todo o planejamento feito foi colocado em prática, de forma que o resultado dessa etapa, assim como do projeto descrito nesse relatório, é a versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI instalada.

Dessa forma, a maneira com que essa fase será detalhada será, primariamente, por meio de fotos e imagens, visto que a natureza do resultado do projeto é física.

4.4.1 Local da Fábrica

Como mencionado na seção 4.3.1, o local definido para a implantação da versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI foi em uma sala do espaço Ocean, localizado no prédio de Engenharia de Produção da Escola Politécnica. Como se pode ver na figura 18, a sala onde foi instalada a Fábrica do Futuro POLI se encontra logo na entrada do espaço, à direita, com entrada pela porta laranja.

Figura 18 - Espaço destinado para a versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI



Fonte: Foto própria

Com o local destinado à versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI definido e pronto, foi dado início à preparação dos componentes da fábrica.

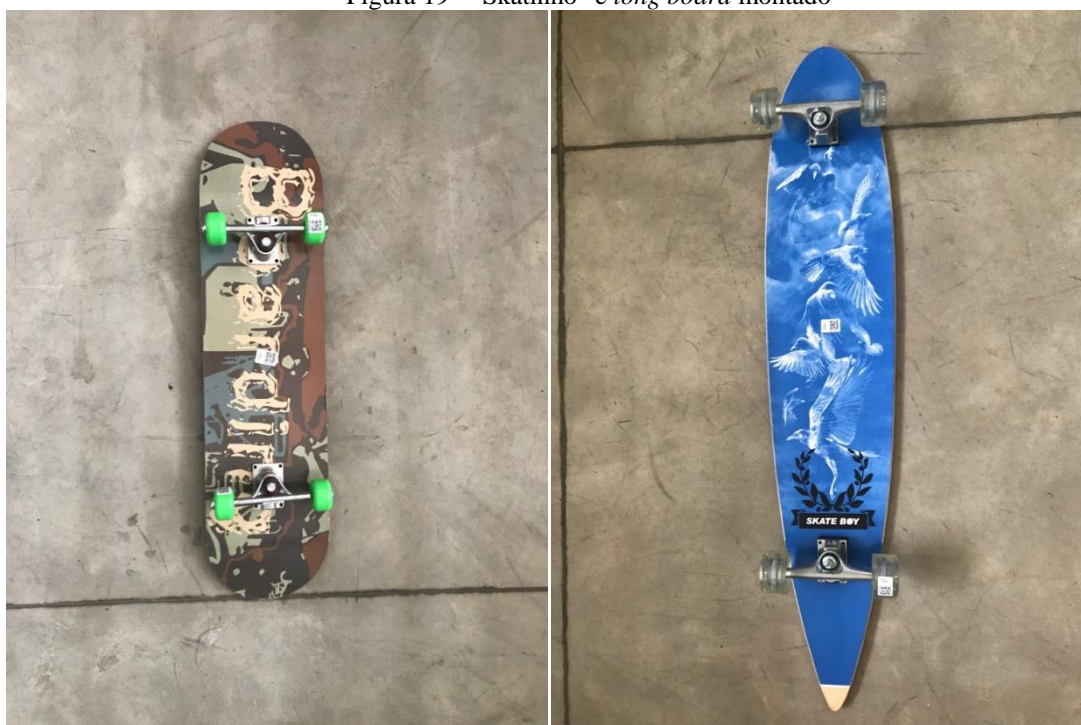
4.4.2 Compra de materiais

Nessa etapa, outros materiais que eram necessários para que a versão *beta* Fábrica do Futuro POLI fosse implementada foram comprados.

Os principais deles, devido ao fato de não haver ainda parcerias entre a Fábrica do Futuro POLI e outras fábricas de ensino para o suprimento de peças de skate, foram pranchas, *trucks* e rodas de skate.

Então, foi decidido pela compra de 3 opções de cada componente, como explicitado na seção 4.3.4. Devido a limitação de verba disponível, foram buscadas peças em locais que fornecem materiais de skate mais simples, com preço reduzido. Então, após uma busca rápida pela internet, optou-se por procurar tais peças em um centro comercial de São Paulo. Lá, percebeu-se que peças individuais saíam mais caras que um skate completo, que contém todas as peças, e então lá foram comprados dois modelos diferentes de skate: um *long-board* e um skate padrão, ou "skatinho", como é popularmente conhecido no meio desse esporte. Esses dois modelos podem ser vistos na figura 19.

Figura 19 - "Skatinho" e *long board* montado



Fonte: Fotos próprias

A compra do terceiro conjunto de peças se deu em uma loja grande de departamento, e o modelo foi o de um *mini cruiser*. Imagens das peças podem ser encontradas na figura 20.

Figura 20 - *Mini cruiser* montado



Fonte: Foto própria

Por fim, o outro material que também foi adquirido para a Fábrica do Futuro POLI foram os recipientes para armazenagem das peças. Assim como as peças de skate, um material de preço acessível era necessário dada a limitação de verba. Portanto, estes acabaram sendo comprados no mesmo local em que o *long-board* e o skate padrão. Foram comprados 3 recipientes maiores para o armazenamento dos *trucks*, e um quarto recipiente contendo divisórias para o armazenamento das rodas. Esses recipientes podem ser vistos na figura 21.

Figura 21 - Recipientes usados para armazenagem das peças



Fonte: Foto própria

Depois da compra desses materiais, o próximo passo dado foi o desenvolvimento dos demonstradores.

4.4.3 Demonstradores

Dos 4 demonstradores pensados para integrar a Fábrica do Futuro, dois deles foram desenvolvidos internamente e outros dois foram providos por empresas parceiras, a DEV Tecnologia e a Mvisia.

4.4.3.1 1º Demonstrador

O primeiro demonstrador foi provido por uma empresa parceira, no caso, a DEV Tecnologia. Como colocado na seção 4.3.3.1, é um demonstrador que conta com beacons - *tags* para a identificação, os receptores de sinais e o software que faz a leitura dos sinais e transmite a posição de determinado beacon.

Dependendo do local onde os receptores é colocado, é possível saber a localização de certo beacon, já que eles indicam se ele está na frente ou atrás dos receptores (lado A e lado

B). Nas figuras 22, 23 e 24 é possível ver os receptores, os beacons e um computador com a interface para o software aberta, e na imagem 25 alguns dos componentes juntos.

Figura 22 - Receptores de sinais da DEV usados no 1º demonstrador



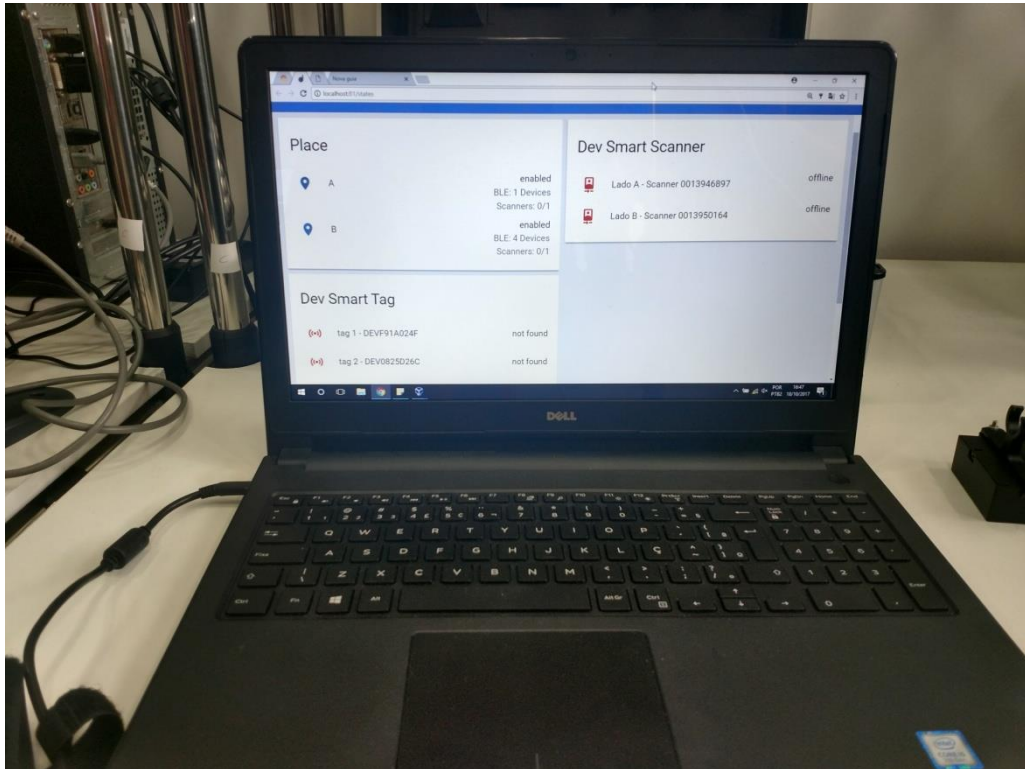
Fonte: foto própria

Figura 23 - Simulação de um skate com um DEV beacon acoplado



Fonte: foto própria

Figura 24 - Interface que indica a posição dos beacons



Fonte: foto própria

Figura 25 - Componentes que compõe o 1º demonstrador



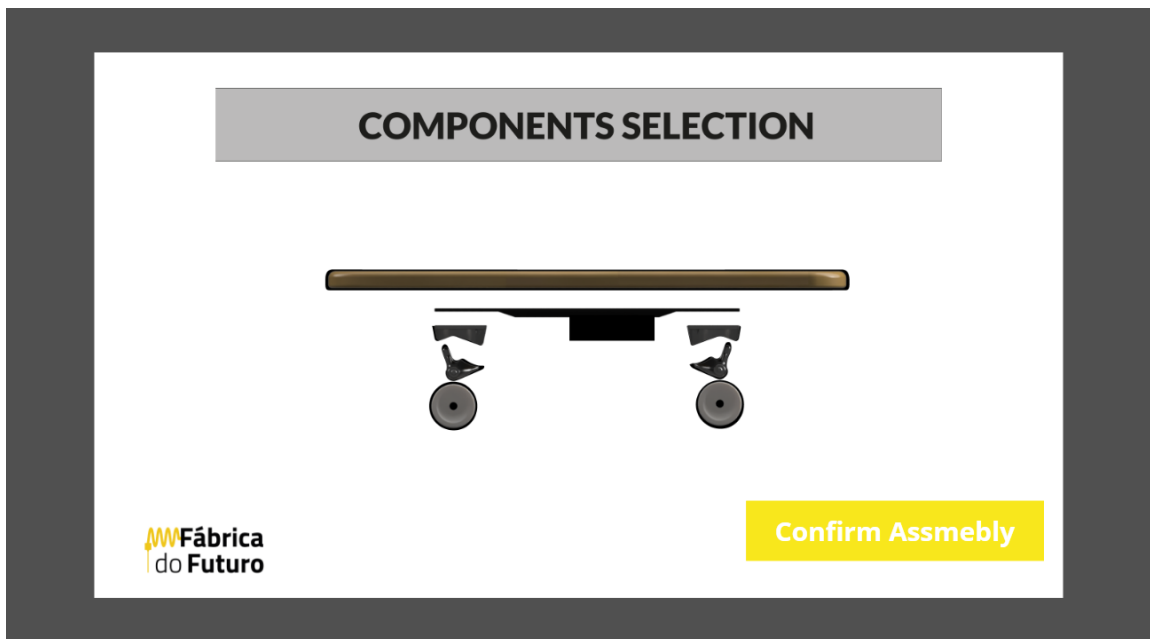
Fonte: foto própria

4.4.3.2 2º Demonstrador

O segundo demonstrador é destinado à montagem do skate, contando com um aplicativo de apoio. Na montagem desse demonstrador, um aluno de iniciação científica da Engenharia de Telecomunicações e Controle, Lucas Aparecido Cruz, teve grande participação, principalmente no que tange o aplicativo.

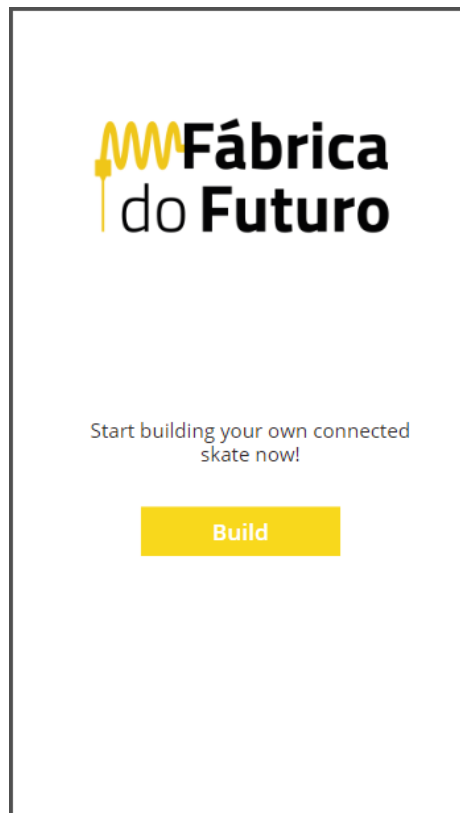
Para o desenvolvimento desse aplicativo - ou *app* - foi utilizado a plataforma App Maker, como planejado na seção 4.3.3.2. Nessa plataforma, as duas interfaces foram desenhadas e o banco de dados estruturado, como se pode ver nas figuras 26 e 27.

Figura 26 - Interface do operador



Fonte: Aplicativo da Fábrica do Futuro POLI

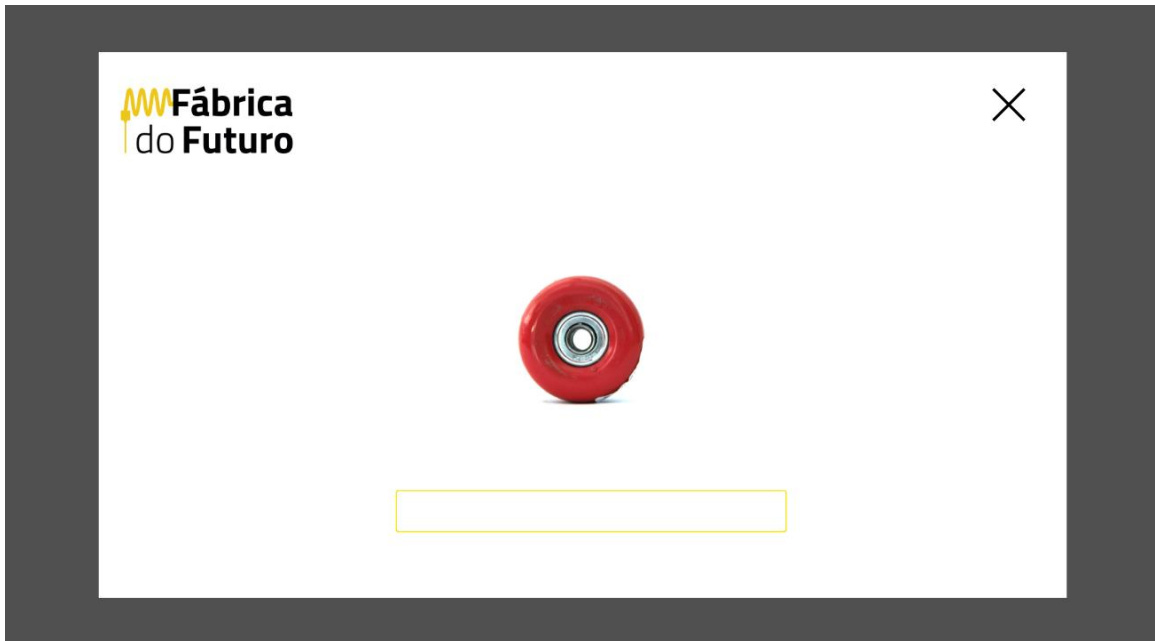
Figura 27 - Interface do cliente



Fonte: Aplicativo da Fábrica do Futuro POLI

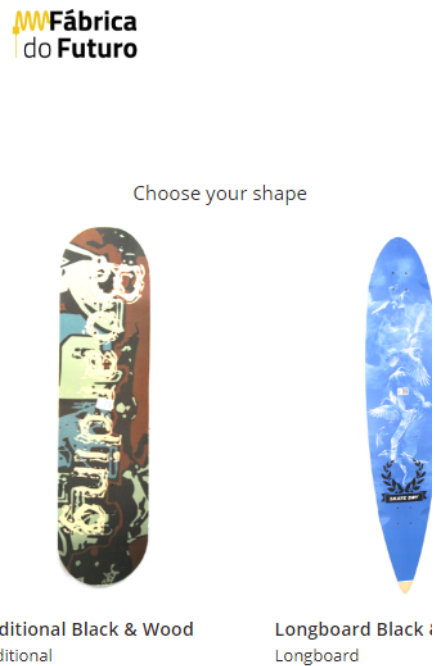
Para as duas interfaces, foram necessárias fotos das peças, para que se permitisse a visualização delas tanto pelo consumidor final quanto pelo operador responsável pela montagem. Imagens das fotos nas interfaces se encontram nas figuras 28 e 29.

Figura 28 - Foto na interface do operador



Fonte: Aplicativo da Fábrica do Futuro POLI

Figura 29 - Fotos na interface do cliente



Fonte: Aplicativo da Fábrica do Futuro POLI

Ainda, para o controle das peças, etiquetas com *tags QR Code* foram acopladas em cada peça de maneira única, de forma que fosse possível serem escaneadas pelos leitores conectados aos computadores. Esse sistema pode ser visto na figura 30.

Figura 30 - Sistema para identificação das peças: peça com *QR Code* único e leitor



Fonte: Foto própria

4.4.3.3 3º Demonstrador

O terceiro demonstrador é aquele composto pela impressora 3D, junto com vários outros componentes.

O sistema OctoPi foi então transferido para o cartão SD, que por sua vez foi plugado na placa Raspberry Pi. A Raspberry Pi foi então conectada à internet, enquanto a impressora 3D foi conectada à placa.

Feitas as configurações para o funcionamento da interface OctoPrint, o próximo passo dado foi configurar o roteador para o redirecionamento de portas de conexão. Porém, não foi possível fazer o redirecionamento da porta 80, que é a padrão, para uma outra - no caso a porta 81 - pois um firewall da rede da USP impedia a manobra.

A solução encontrada foi conversar com o departamento de TI do espaço Ocean, que abriu um novo IP público para o uso na Fábrica do Futuro POLI, de forma que não fosse necessário redirecionar portas já que a porta padrão (porta 80) estava assim liberada.

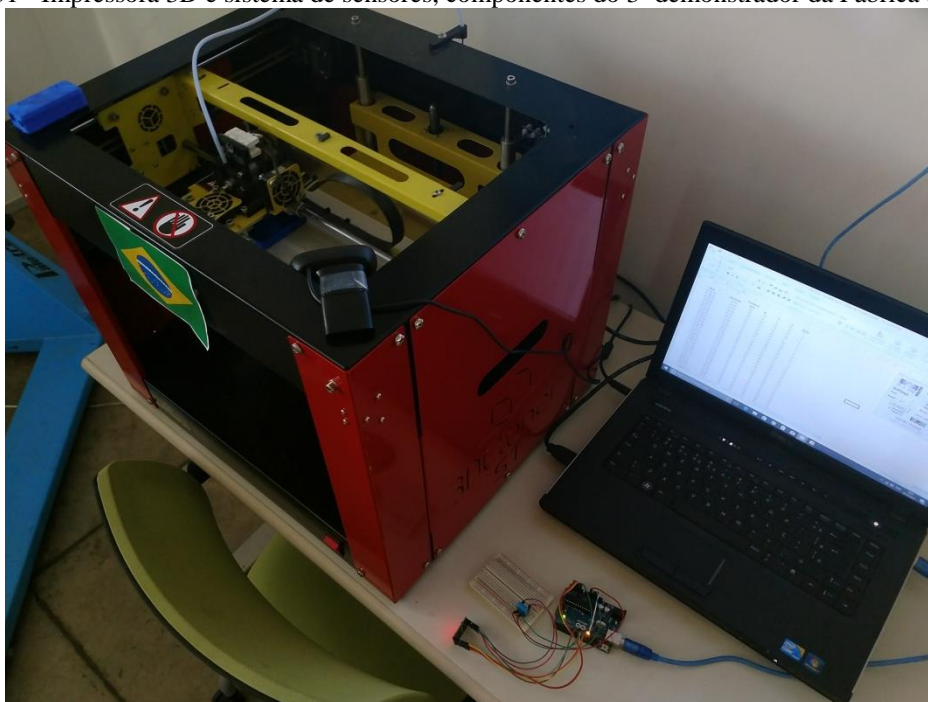
Resolvido esse problema técnico, o desenvolvimento do demonstrador seguiu com a instalação da webcam, que já tinha suas configurações prontas devido ao sistema OctoPi, e dos sistemas de sensores com arduino.

Os dados dos sistemas de sensores foram programados para serem plotados em uma planilha de Excel, através de um add-in para o programa e do funcionamento do arduino.

Em seguida, foi feita uma conexão via Skype com alunos em intercâmbio na Alemanha para garantir que estes conseguiram controlar a impressora 3D.

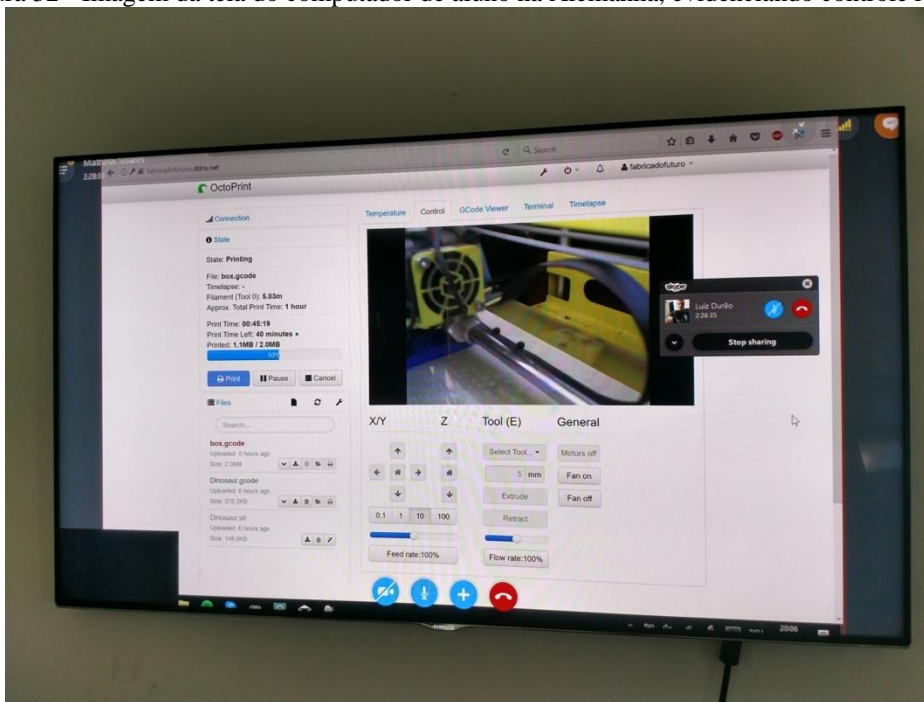
Os componentes do demonstrador atuando de forma integrada podem ser vistos nas figuras 31 e 32.

Figura 31 - Impressora 3D e sistema de sensores, componentes do 3º demonstrador da Fábrica do Futuro



Fonte: Foto própria

Figura 32 - Imagem da tela do computador de aluno na Alemanha, evidenciando controle remoto



Fonte: Foto própria

4.4.3.4 4º Demonstrador

O quarto e último demonstrador que integrou a versão *beta* da Fábrica do Futuro foi aquele fornecido pela empresa Mvisia.

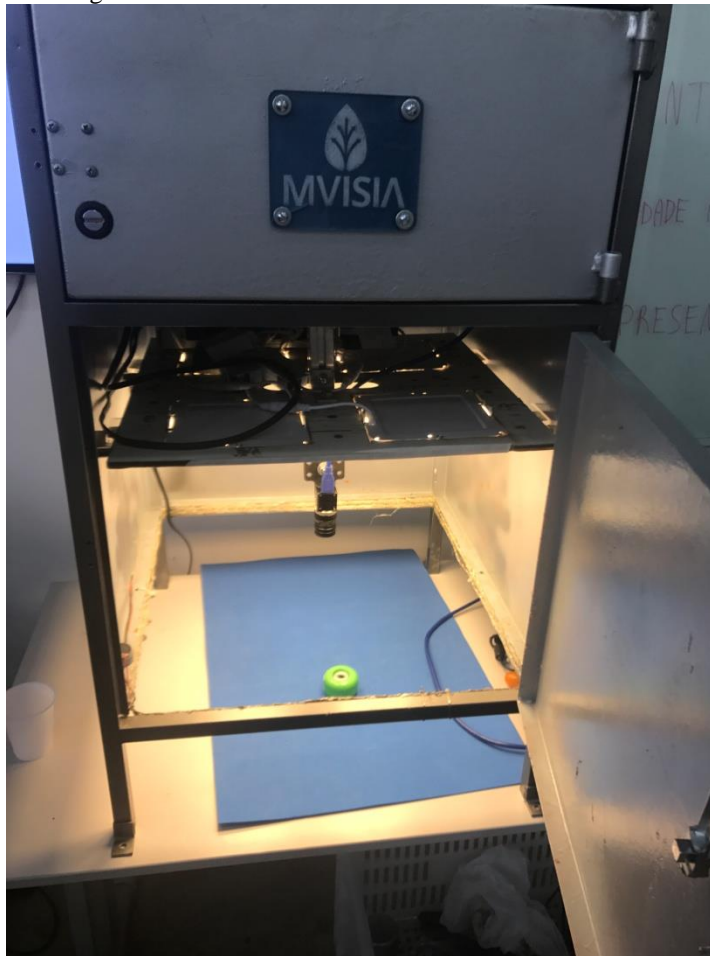
Esse demonstrador é o responsável pelo controle de qualidade das peças, conforme adiantado na seção 4.3.3.4. Da adaptação de tecnologias normalmente fornecidas pela Mvisia, o resultado foi o demonstrador visto na figura 33, em que se pode notar a estrutura do demonstrador e a interface do software que faz a leitura das imagens. Na figura 34, tem-se uma visão interna do demonstrador, em que se vê a câmera responsável por capturar as imagens que serão analisadas.

Figura 33 - Demonstrador montado pela Mvisia



Fonte: Foto própria

Figura 34 - Visão interna da estrutura do demonstrador



Fonte: Foto própria

Com os demonstradores montados e em condição de funcionamento, foi possível então dar início à montagem da versão *beta* Fábrica do Futuro.

4.4.4 Montagem da Fábrica

Inicialmente, foram colocados os materiais que já haviam sido comprados, como colocado na seção 4.1 - bancadas, estantes, computadores, impressora *QR Code*, leitor *QR Code* e telas *touch screen*. A disposição desses componentes pode ser melhor entendida nas figuras 35, 36 e 37.

Figura 35 - Bancadas com estrutura de estantes superiores e inferiores, computadores e leitores de *QR Code*



Fonte: Foto própria

Figura 36 - Estantes laterais



Fonte: Foto própria

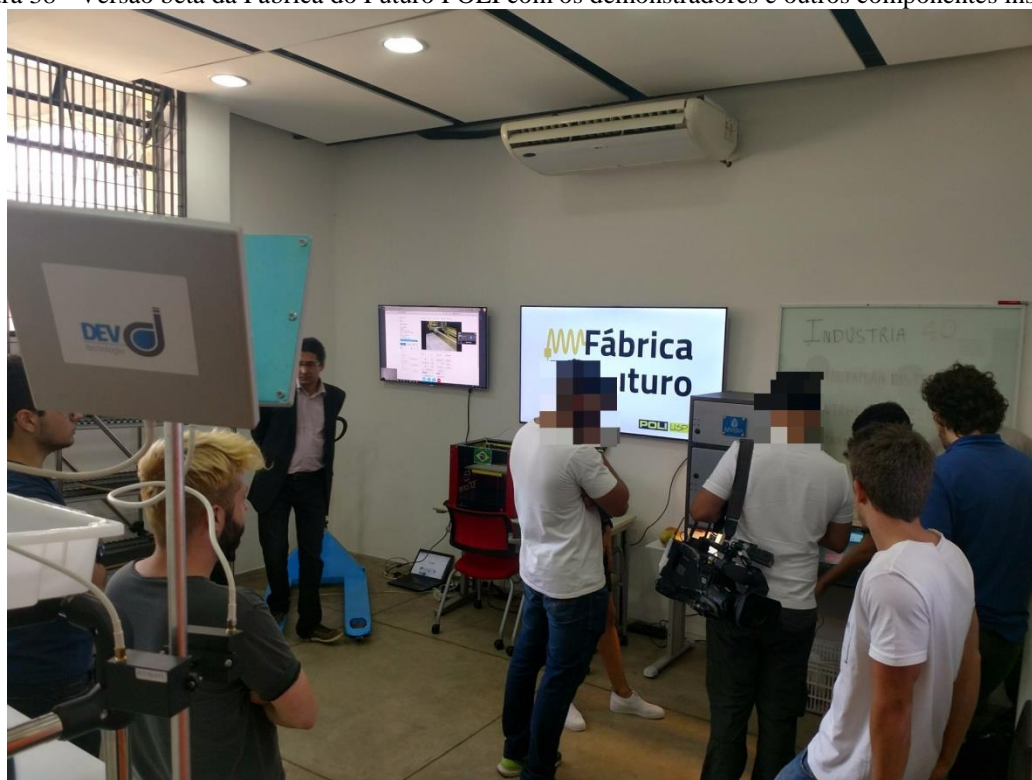
Figura 37 - Disposição dos componentes juntos



Fonte: Foto própria

Após isso, foi feita a instalação dos demonstradores. Uma imagem da versão *beta* Fábrica do Futuro POLI montada pode ser vista na figura 38.

Figura 38 - Versão beta da Fábrica do Futuro POLI com os demonstradores e outros componentes instalados



Fonte: Foto própria

Com isso, a versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI estava instalada e o objetivo desse trabalho alcançado.

5 Conclusão

Esse capítulo engloba a conclusão do trabalho de implementação da versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI. Ele é dividido em 3 etapas, onde é colocado de forma conclusiva como se deu a sua condução, quais foram as lições aprendidas e quais os próximos passos para que o trabalho tenha continuidade.

5.1 Condução do trabalho

Como esclarecido na seção 1.3, o objetivo desse trabalho era a implementação da versão *beta* da Fábrica do Futuro POLI e pode-se concluir que ele foi atingido. Como resultado, houve uma fábrica de ensino instalada no espaço Ocean que trazia 4 demonstradores de tecnologias da Indústria 4.0, sendo elas:

- Automação;
- CPPS;
- Inteligência Artificial;
- Internet das Coisas;
- Manufatura Aditiva;
- Manufatura Distribuída;
- Modularidade do Produto;
- Nuvem;
- Smart Assembly;
- Smart Tracking.

Para a definição dessas tecnologias, foi feito um levantamento robusto de 77 demonstradores de tecnologias espalhados em fábricas de ensino pelo mundo, e foram rankeadas as tecnologias de Indústria 4.0 mais recorrentes.

Com as tecnologias definidas, uma busca por provedores de tecnologias que pudessem fornecer algumas delas e por recursos que pudessem compor os demonstradores tomou curso.

Então, foram pensados quais os demonstradores seriam os responsáveis por representar as tecnologias escolhidas.

Em seguida, se deu início à montagem dos demonstradores e, uma vez montados, a implementação da fábrica começou.

5.2 Aprendizados

Entender como métodos de ensino vêm se atualizando e se modernizando foi o primeiro dos grandes aprendizados alcançados com esse trabalho. Ver o conceito de fábrica de ensino difundido em diversas universidades pelo mundo, além de ver um esforço na USP para a implementação de uma, mostrou uma preocupação em colocar o lado prático do aprendizado cada vez mais presente no processo de aprendizagem. Além disso, a preocupação em preparar por meio de vivências aqueles que integrarão o ambiente fabril no futuro é algo interessante.

O segundo grande aprendizado foi o conhecimento sobre características e possíveis impactos que a Indústria 4.0 pode proporcionar, através de um contato mais próximo com tecnologias advindas dela. Estudar de maneira mais íntima o início de mais uma revolução industrial se coloca como um diferencial na formação de um engenheiro.

Por fim, o último grande aprendizado foi poder ter uma vivência de engenharia onde o autor se viu em uma situação de implementação de fábrica, mesmo que com suporte de envolvidos no projeto Fábrica do Futuro POLI. Poder entender problemas e dificuldades que podem surgir em um projeto como tal foi essencial para uma formação mais completa.

5.3 Próximos passos

Tomando os resultados desse trabalho, pode-se identificar quais são os próximos passos para que o projeto Fábrica do Futuro POLI seja finalizado.

Dado que esse trabalho foi finalizado com a implementação de uma versão *beta* da fábrica, o próximo objetivo é instalar a versão final da Fábrica do Futuro. O que impediu que a implementação da fábrica acontecesse em seu destino final foi a limitação do local destinado a ela, no prédio do InovaUSP que ainda não se encontra pronto – como colocado na seção 4.2.3.

Portanto, um dos próximos passos é fazer a transferência dos materiais que hoje se encontram na versão *beta* da fábrica para a sala do InovaUSP em que a fábrica será instalada. Além desses materiais, outros componentes como mesas e cadeiras também deverão ser integrados, visto que lá haverá espaço destinado para a acomodação destes.

Além disso, a transferência dos demonstradores também precisa ser feita. Alguns deles seriam reestruturados de forma que ficassem mais robustos. Para o da Mvisia, por exemplo, foi pensado na inclusão de uma esteira para que as peças possam ser analisadas de maneira contínua. No caso do aplicativo para pedidos e montagem dos skates, a funcionalidade de entrega dos pedidos pode vir a ser ativada.

Há a intenção ainda de incluir *tags* RFID na fábrica, com a aquisição de uma impressora de RFID junto com um leitor para a indentificação deles.

Dado um espaço físico maior - $\sim 600\text{m}^2$ - é esperado também que no futuro haja a inclusão de outros demonstradores de outras tecnologias, além do desenvolvimento de alguns outros recursos. Um exemplo seria o desenvolvimento completo do sistema da caixa de conectividade, de forma que ele fique totalmente operacional.

Olhando para o complexo de produção no qual a Fábrica do Futuro POLI estaria inserido, outro passo a ser dado é integrar outras fábricas de ensino no processo produtivo, de forma que estas seriam responsáveis pelo fornecimento de peças do skate para que o produto final seja montado na fábrica localizada no InovaUSP.

Por fim, é preciso ainda estruturar como a Fábrica do Futuro POLI será utilizada e integrada dentro de disciplinas da universidade, ou seja, definir quais serão as matérias ou cursos que farão uso da fábrica e como serão ministrados.

6 Bibliografia

3DCLONER, IDÚSTRIA SCHUMACHER “**3DCloner ST**”. Disponível em: http://www.3dcloner.com.br/detalhes_produto/2/3dcloner_st.html acessado em 31 de Outubro de 2017 às 19h35.

ABELE, E.; METTERNICH, J.; TISCH, M.; CHRYSSOLOURIS, G.; SIHN, W.; ELMARAGHY, H.; HUMMEL, V.; RANZ, F. “**Learning Factories for research, education, and training**” em *5th International Conference on Learning Factories Procedia CIRP*, p. 1-6, 2015.

AGUIAR, L. J.; CAVALCANTI, R.; FURUSHIO, L. H.; SURITA, J. G.; VASTO, R.; ZANFORLIN, A. B. G.; “**Implementation of Global Industrie 4.0 Additive Manufacturing Scenarios**”, 2015.

ALTRONIX – SISTEMAS ELETRÔNICOS “**Leitores de Código de Barras Zebra e Terminais Móveis**”. Disponível em: <http://www.altronix.pt/leitores-codigo-barras-e-terminais> acessado em 01/10/2017 às 19h40.

ANDERSSON, J.; MARKLUND, J. “**Decentralized inventory control in a two-level distribution system**”, 2000.

BCG ANALYSIS “**Embracing Industry 4.0 – and Rediscovering Growth**”. Disponível em: <https://www.bcg.com/en-br/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>, acessado em 23 de Outubro de 2017 às 9h31.

BOYER, K.; PAGELL, M. “**Measurement issues in empirical research: improving methods of operations strategy and advanced manufacturing technology**” *J. Oper. Manag.* 18, 2000.

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. “**How Virtualization , Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective**” em *International Journal of Information and Communication Engineering*, v.8, n.1, p. 37–44, 2014.

BURGGRAEF, P.; DANNAPFEL, M.; VOET, H.; BOEK, P. B.; UELPENICH, J.; HOPPE, J. “**Digital Transformation of Lean Production: Systematic Approach for the Determination of Digitally Pervasive Value Chains**” em *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 11, p. 2291-2300, 2017.

CHENG, Y. W. “**Fábrica POLI: detalhamento de uma fábrica de ensino no contexto da Indústria 4.0**” São Paulo, 2016. 140 p.

COSTA, E. P.; POLITANO, P. R.; PEREIRA, N. A. “**Exemplo de aplicação do método de Pesquisa-ação para a solução de um problema de sistema de informação em uma empresa produtora de cana-de-açúcar**” *Gest. Prod.*, v.21, no.4, São Carlos: Outubro/Dezembro, 2014.

DATA MATRIX CODE “**Data Matrix Code vs QR Code**”, Fevereiro, 2013. Disponível em: <http://www.datamatrixcode.net/data-matrix-code-vs-qr-code/> acessado em 04/10/2017 às 16h23.

DENSO WAVE INCORPORATED “**Create your QR Code for free**”. Disponível em: <http://www.qr-code-generator.com/> acessado em 01/10/2017 às 19h36.

DEV TECNOLOGIA “**Quem somos**”. Disponível em: <http://devtecnologia.com.br/sobre/quem-somos/> acessado em 10/10/2017 às 14h37.

DICK, B. “**A beginner’s guide to action research**” 2000. Disponível em: http://www.uq.net.au/action_research/arp/guide.html acessado em 30 de Setembro de 2017 às 10h54.

DURÃO, L. F. C. S., CHRIST, A. ZANCUL, E., ANDERL, R., SCHÜTZER, K. “**Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts**”, em *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v.93, pg 869-880, Outubro, 2017.

DURÃO, L. F. C. S.; CHRIST, A.; ANDERL, R.; SCHUTZER. K.; ZANCUL, E. “**Distributed Manufacturing of Spare Parts based on Additive Manufacturing : Use Cases and Technical Aspects**” em *Procedia CIRP*, v.57, p. 704-709, 2016.

ELMARAGHY, H.; ELMARAGHY, W. “**Learning Integrated Product and Manufacturing Systems**” em *5th Cirp Conference on Learning Factories*, p. 19-24, 2015.

E-NOVATION GERMANY “**Industry 4.0**”, v.60, Março, 2015. Disponível em: <http://archive.constantcontact.com/fs185/1103326741996/archive/1120294887166.html> acessado em 10 de Setembro de 2017 às 17h02.

ENTHENTICA INC “**Radio Frequency Tags & Readers**”. Disponível em: <http://www.enthentica.com/rfid-tags/> acessado em 01/10/2017 às 19h33.

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP “**A Pesquisa na Poli**”. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/pesquisa/a-pesquisa-na-escola-politecnica.html> acessado em 05/11/2017 às 21h52.

ESTERLE, L.; GROSU, R. “**Cyber-physical systems: challenge of the 21st century**”, 2016.

FARAH, K. C.; FERREIRA, M. C.; GREGÓRIO, M. G.; MARTINS, P. A. “**Implementation of Global Industrie 4.0 Quality Control Scenarios**”, 2017.

GRIMM, M.; CHRIST, A.; ANDERL, R. “**Distributed Additive Manufacturing - Concept for the Application of JT (ISO 14306) as Downstream Process Format**” em *ASME 2015 Internationals Design Engineering technical Conferences & Computers and Information Engineering Conference (IDETC/CIE)*, 2015.

HEDGES, T. M. “**Indoor GPS Technology for Metrology**” por *ArcSecond*, 2002. Disponível em:

http://www.cs.columbia.edu/~drexel/CandExam/ARCSecond_Indoor_GPS_Technology_for_Metrology.pdf acessado em 23 de Setembro de 2017 às 20h.

JONSSON, P. “**An empirical taxonomy of advanced manufacturing technology**” em *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 20, 2000.

KHAJAVI, S. H.; PARTANEN, J.; HOLMSTRÖM, J. “**Additive manufacturing in the spare parts supply chain**” *Comput. Ind.*, v.65, p. 50–63, 2014.

KLEINHEMPEL, K.; SATZER, A.; STEINBERGER, V. “**Industrie 4.0 im Aufbruch?**”, Hans Böckler Stiftung, 2015.

KOTHA, S. “**Strategy, manufacturing structure and advanced manufacturing technology**” em *Natl. Conf. Acad. Manag.*, 1991.

KOTHA, S.; SWAMIDASS, P. “**Strategy, advance manufacturing technology and performance: empirical evidence from U.S. manufacturing firms**” em *J. Oper. Manag.*, 2000.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. “**Industrie 4.0**” *Business & Information Systems Engineering*: v.6, p. 239-242, 2014.

LEITÃO, P. “**Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey**” em *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, p. 979-991, 2009.

LIKER, J. K. “**The Toyota Way: 14 Management Principles from the World’s Greatest Manufacturer**”, New York: McGraw-Hill, 2004.

MAISANO, D. A.; JAMSHID, J.; FRANCESCHINI, F.; MAROPOULOS, P. G.; MASTROGIACOMO, L; MILEHAM, A. R.; OWEN, G. W. “**Indoor GPS: system functionality and initial performance evaluation**” em *Int. J. Manufacturing Research*, v.3, No.3, 2008.

MARVIN, R. “**Google App Maker**” em *PCMag*, Junho, 2017. Disponível em: <https://www.pcmag.com/review/353387/google-app-maker> acessado em 01/10/2017 às 19h38.

MIORANDI, D.; SICARI, S.; PELLEGRINI, F.; CHLAMTAC, I. “**Internet of things: Vision, applications and research challenges**” em *Ad Hoc Networks*, v.10, n.7, p. 1497–1516, 2012.

MVISIA “**Quem somos**”. Disponível em: <http://www.mvisia.com.br/about.html> acessado em 16/10/2017 às 17h02

NAGEL, L.; ROIDL, M.; FOLLERT, G. “**The internet of things: on standardisation in the domain of intralogistics**” em *First International Conference on The Internet of Things*, Zürich, p. 16-21, 2008.

NFC FORUM. “**About the Technology: NFC and Contactless Technologies**”. Disponível em: <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/> acessado em 23 de setembro de 2017 às 19h.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **“Administração da produção: operações industriais e de serviços”** Curitiba, UnicenP, 2007.

PERUMAL, H. **“Improving Supply Chain in Your Business”**, International Institute of Management, 2006.

PETROVIC, V.; GONZALEZ, J. V. H.; FERRANDO, O. J.; GORDILLO, J. D.; PUCHADES, J. R. B.; GRIÑAN, L. P. **“Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies”** em *Int. J. Prod. Res.*, vol.49, no.4, pp. 1061–1079, 2011.

ROMMEL, S.; FISCHER, A. **“Additive Manufacturing - A Growing Possibility to Lighten the Burden of Spare Parts Supply”** em *Digital Product and Process Development Systems*, 2013.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. **“Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries”** em *BCG perspectives*, Abril, 2015.

SCHLAEPFER, R. C.; KOCH, M. **“Industry 4.0 – Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies”** Relatório Deloitte, Zurich, 2015.

SILVA, J. C. **“Fábrica POLI: Concepção de uma fábrica de ensino no contexto da Indústria 4.0”** São Paulo, 2015. 121 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.. **“Administração da produção”** São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, N.; LEWIS, M. **“Operations strategy: reconciling market requirements and operations resources”** Prentice Hall, 2001.

SMALL, M.; YASIN, M. **“Human factors in the adoption and performance of advanced manufacturing technology in unionized firms”** *Ind. Manag. Data Syst.* 100, 2000.

TEC IT **“Data Matrix (ECC200) – 2D Barcode”**. Disponível em: <http://www.tecit.com/en/support/knowledge/symbologies/datamatrix/Default.aspx> acessado em 03 de Setembro de 2017 às 17h04.

THIOLLENT, M. **“Pesquisa-Ação nas Organizações”** São Paulo: Atlas, 1997.

TISCH, M.; HERTLE, C.; CACHAY, J.; ABELE, E.; METTERNICH, J.; TENBERG, R. **“A Systematic Approach on Developing Action-oriented, Competency-based Learning Factories”** em *Procedia CIRP*, v.7, p. 580-585, 2013.

TREEWALKERLABS **“Difference between QR Code and Data Matrix”**, Junho, 2017. Disponível em: <http://treewalkerlabs.com/difference-between-qr-code-and-data-matrix/> acessado em 04/10/2017 às 16h33.

VOGT, B. **“CIRP: Welcome to the 5th Conference on Learning Factories sponsored by CIRP”**, 2015. Disponível em:

http://www.lps.rub.de/imperia/md/content/clf/participants_guide.pdf acessado em 25 de Outubro de 2017 às 18h45.

WEIS, S. A. **“RFID Principles and Application”** MIT CSAIL, 2007.

ZAMMUTO, R.; O’CONNOR, E. **“Gaining advanced manufacturing technologies benefits”** 1992.

ZANCUL, E. D. S.; DURÃO, L. F. C.; ROCHA, A. M.; SILVA, G. D. E. **“PLM process and information mapping for mass customisation based on additive manufacturing”** em *International Journal of Product Lifecycle Management*, 9(2), p. 159-178, 2016.

7 Apêndice

Figura 39 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 1/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias								
		Smart Assembly	Internet das Coisas	CPPS	Manufatura Aditiva	Manufatura Distribuída	Manufatura Modular	Automação	Smart tracking	
Ambiente Virtual Estendido	-			x						x
Bluetooth beacons	-									
Célula híbrida de Manufatura Aditiva			x	x	x					x
Digital Shadow - Representação Virtual	aIE at IFF			x						
FDM	AM model factory at Auf				x					
SLM	AEG				x					
SLS					x					
Armazenamento High Bay										x
Robô de 6 eixos		x	x	x						x
Impressora pneumática			x	x						x
Inspeção Óptica e Pesagem	AutFab		x	x						
Inspeção Elétrica			x	x						
Transportadora Inteligente			x	x						x
Digital Twin - Representação Digital									x	
Linha de montagem	Autoflex	x								x
Visualização da planta										
Sensores Kinect	Automotive final assembly line									
Robô para montagem automatizada	Autronica	x								x
Solução Óptica para Detecção de Objeto	CiP									
FDM	CubeFactory						x			
Sistema Smartwatch-Extended Pick-by-Voice										
Sistema de localização em tempo real na produção	Demonstration Factory at RWTH Aachen	x								
Instrução de montagem 3D com apoio de C.A.D										x
Visualização da planta para KPIs e Reuniões de Time										x

Fonte: Composição própria

Figura 40 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 2/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias				Tecnologias de Controle de Qualidade
		Processo logístico	Nuvem	Inteligência Artificial	Big Data	
Ambiente Virtual Extendido						
Bluetooth beacons						
Célula híbrida de Manufatura Aditiva						
Digital Shadow - Representação Virtual	aIE at IFF					
FDM	AM model factory at Auf					
SLM	AEG					
SLS						
Armazenamento High Bay						
Robô de 6 eixos						
Impressora pneumática						
Inspeção Óptica e Pesagem	AutFab					x
Inspeção Elétrica						x
Transportadora Inteligente						
Digital Twin - Representação Digital						
Linha de montagem	Autoflex					
Visualização da planta	Automotive final assembly line					
Sensores Kinect	Autronica					
Robô para montagem automatizada	CIP					x
Solução Óptica para Detecção de Objeto	CubeFactory					
FDM						
Sistema Smartwatch-Extended Pick-by-Voice						
Sistema de localização em tempo real na produção	Demonstration Factory at RWTH Aachen					
Instrução de montagem 3D com apoio de CAD						
Visualização da planta para KPIs e Reuniões de Time						

Fonte: Composição própria

Figura 41 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 3/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias	
		Realidade aumentada	Modularidade de produto
Ambiente Virtual Estendido			
Bluetooth beacons	-		
Célula híbrida de Manufatura Aditiva			
Digital Shadow - Representação Virtual	aIE at IFF		
FDM			
SLM	AM model factory at Auf AEG		
SLS			
Armazenamento High Bay			
Robô de 6 eixos			
Impressora pneumática			
Inspeção Óptica e Pesagem	AutFab		
Inspeção Elétrica			
Transportadora Inteligente			
Digital Twin - Representação Digital			
Linha de montagem			
Visualização da planta	Autoflex		x
Sensores Kinect	Automotive final assembly line		
Robô para montagem automatizada	Autronica		
Solução Óptica para Detecção de Objeto	CiP		
FDM	CubeFactory		
Sistema Smartwatch-Extended Pick-by-Voice			x
Sistema de localização em tempo real na produção	Demonstration Factory at RWTH Aachen		
Instrução de montagem 3D com apoio de CAD			
Visualização da planta para KPIs e Reuniões de Time			

Fonte: Composição própria

Figura 42 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 4/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias							
		Smart Assembly	Internet das Coisas	CPPS	Manufatura Aditiva	Manufatura Distribuída	Manufatura Modular	Automação	Smart tracking
Sistema de Recipiente Inteligente (Intelligent Bin System)		x	x	x				x	x
Digital Twin - Representação Digital				x					x
Linha de montagem de uma scooter		x					x		x
Arquitetura SES	ESB LLF			x					
Impressora 3D					x				
Veículo automaticamente guiado			x					x	
Robôs Colaborativos				x				x	
Cockpit de Estresse e Tensão			x						
HolMS								x	
Sistema de Rastreamento	GKA Aerospace Norway								x
Monitoramento Inteligente de Energia	Green Factory AUGSBURG								
LBM					x				
Interconexão entre Fábricas de Ensino	Green Factory AUGSBURG e Green Factory Bavaria					x			
SLM	Green Factory Bavaria				x				
LBT									
Sistema de Sensores			x						
Sistemas Modulares de Montagem	IE-Training Center								x
Sistema PCP	IFA Learning Factory at Leibniz Universität Hannover			x					
Linha de Montagem flexível e configurável							x		
Linha de produção de Karet				x					x
Linha de produção de caixa de transmissão	Lean Learning Factory at University of Split			x					x
Software para montagem do Karet									
Células de Montagem		x							

Fonte: Composição própria

Figura 43 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 5/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias				
		Processo Logístico	Nuvem	Inteligência Artificial	Big Data	Produção Lean
Sistema de Recipiente Inteligente (Intelligent Bin System)	ESB LLF					
Digital Twin - Representação Digital		x		x		
Linha de montagem de uma scooter		x				
Arquitetura SES			x		x	
Impressora 3D						
Veículo automaticamente guiado						
Robôs Colaborativos				x		
Cockpit de Estresse e Tensão						x
HolMS	GKA Aerospace Norway		x			
Sistema de Rastreamento						
Monitoramento Inteligente de Energia	Green Factory AUGSBURG			x		
LBM						
Interconexão entre Fábricas de Ensino	Green Factory AUGSBURG e Green Factory Bavaria					
SLM	Green Factory Bavaria					
LBT	Green Factory Bavaria					
Sistema de Sensores					x	
Sistemas Modulares de Montagem	IE-Training Center					
Sistema PCP	IFA Learning Factory at Technische Universität München	x				x
Linha de Montagem flexível e configurável						
Linha de produção de Karet	Lean Learning Factory at Technische Universität München					x
Linha de produção de caixa de transmissão						x
Software para montagem do Karet						
Células de Montagem						

Fonte: Composição própria

Figura 44 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 6/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias		
		Realidade aumentada	Modularidade de produto	Representação virtual
Sistema de Recipiente Inteligente (Intelligent Bin System)				
Digital Twin - Representação Digital				
Linha de montagem de uma scooter				
Arquitetura SES	ESB LLF			
Impressora 3D				
Veículo automaticamente guiado				
Robôs Colaborativos				
Cockpit de Estresse e Tensão				
HolMS				
Sistema de Rastreamento	GKA Aerospace Norway			
Monitoramento Inteligente de Energia	Green Factory AUGSBURG			
LBM				
Interconexão entre Fábricas de Ensino	Green Factory AUGSBURG e Green Factory Bavaria			
SLM				
LBT	Green Factory Bavaria		x	
Sistema de Sensores				
Sistemas Modulares de Montagem	IE-Training Center			
Sistema PCP	IFA Learning Factory at Leibniz Universität Hannover			
Linha de Montagem flexível e configurável				
Linha de produção de Karet				
Linha de produção de caixa de transmissão	Lean Learning Factory at University of Split			
Software para montagem do Karet				x
Células de Montagem				

Fonte: Composição própria

Figura 45 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 7/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias								
		Smart Assembly	Internet das Coisas	CPPS	Manufatura Aditiva	Manufatura Distribuída	Manufatura Modular	Automação	Smart tracking	
Linha de Montagem	Lean Manufacturing Laboratory at University of Luxembourg									
Sistema para Captação Automática de Dados										
iFactory	Learning Factory at the IMS Center, University of Windsor	x		x			x			x
iOrder										
iPlan										
Linha de Montagem	Learning Factory BERIHA									
Linha de Montagem Flexível	Learning Factory on Global Production at KIT						x		x	
Incorporação Virtual de Etapas da Produção Robô de 6 eixos										
Sistema de Informação em tempo-real da Cadeia de Suprimento	LF Velbert/Heiligenhaus of the Bochum University			x					x	
Sistema de Assistência APP'sist				x						
Controle de Manufatura baseado em simulação	LPS Learning Factory			x						
DigiLernPro										
Modelo Virtual e Simulação de Jogo de Negócios		x								
Sensores conectados ao MfES	LRE at Ruhr-University of Bochum			x						
Impressora 3D										
Robôs Móveis	MTA SZTAKI			x						x
Host Central				x						
Estação de Montagem	Study Factory at IPS	x								x

Fonte: Composição própria

Figura 46 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 8/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias				
		Processo Logístico	Nuvem	Inteligência Artificial	Big Data	Produção Lean
Linha de Montagem	Lean Manufacturing Laboratory at University of Luxembourg					x
Sistema para Captação Automática de Dados						
iFactory	Learning Factory at the IMS Center, University of Windsor			x		
iOrder						
iPlan						
Linha de Montagem	Learning Factory BERTHA					x
Linha de Montagem Flexível	Learning Factory on Global Production at KIT					
Incorporação Virtual de Etapas da Produção						
Robô de 6 eixos						
Sistema de Informação em tempo-real da Cadeia de Suprimento	LF Velbert/Heiligenhaus of the Bochum University					
Sistema de Assistência APPsist						
Controle de Manufatura baseado em simulação	LPS Learning Factory				x	
DigiLernPro						x
Modelo Virtual e Simulação de Jogo de Negócios						
Sensores conectados ao MES	LRE at Ruhr-University of Bochum					
Impressora 3D						
Robôs Móveis	MTA SZTAKI					
Host Central						
Estação de Montagem	Study Factory at IPS					x

Fonte: Composição própria

Figura 47 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 9/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias		
		Realidade aumentada	Modularidade de produto	Representação virtual
Linha de Montagem	Lean Manufacturing Laboratory at University of Luxembourg			
Sistema para Captação Automática de Dados				
iFactory	Learning Factory at the IMS Center, University of Windsor		x	
iOrder				
iPlan				x
Linha de Montagem	Learning Factory BERTHA			
Linha de Montagem Flexível	Learning Factory on Global Production at KIT			
Incorporação Virtual de Etapas da Produção				
Robô de 6 eixos	LF Velbert/Heligenhaus of the Bochum University			
Sistema de Informação em tempo-real da Cadeia de Suprimento				
Sistema de Assistência APPSist		x		
Controle de Manufatura baseado em simulação	LPS Learning Factory			
DigiLernPro				
Modelo Virtual e Simulação de Jogo de Negócios				
Sensores conectados ao MÉS	LRE at Ruhr-University of Bochum			
Impressora 3D				
Robôs Móveis	MTA SZTAKI			
Host Central				
Estação de Montagem	Study Factory at IPS			

Fonte: Composição própria

Figura 48 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 10/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias								
		Smart Assembly	Internet das Coisas	CPPS	Manufatura Aditiva	Manufatura Distribuída	Manufatura Modular	Automação	Smart tracking	
Sistema de localização em tempo real										x
Veículo automaticamente guiado	The PuLL Learning Factory								x	
Sistema "Servus" de Intralogistics									x	
Sistema de Produção de Economia Circular	TU Braunschweig - Die Lernfabrik			x						
Linha de Montagem	TU Graz LeanLab									
Máquina de Corte à Laser									x	
Seção de Montagem	TU Wien Learning and Innovation Factory						x			
Sistema de Veículos Automaticamente Guiados									x	
Plataforma de Pedido baseada na nuvem										
Sistema com computadores atrelados à componentes	University of Paderborn			x						
Repositório de Aprendizagem	MSPIL									
Total		11	10	29	10	2	7	18	14	
Ranking		4	5	1	5	15	8	2	3	

Fonte: Composição própria

Figura 49 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 11/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias					Tecnologias de Controle de Qualidade
		Processo logístico	Nuvem	Inteligência Artificial	Big Data	Produção Lean	
Sistema de localização em tempo real							
Veículo automaticamente guiado	The PuLL Learning Factory						
Sistema "Servus" de Intralogistics		x					x
Sistema de Produção de Economia Circular	TU Braunschweig - Die Lernfabrik						
Linha de Montagem	TU Graz LeanLab	x					x
Máquina de Corte a Laser							
Seção de Montagem	TU Wien Learning and Innovation Factory	x					
Sistema de Veículos Automaticamente Guiados							
Plataforma de Pedido baseada na nuvem							
Sistema com computadores atrelados à componentes	University of Paderborn		x				
Repositório de Aprendizagem	MSPL		x				
Total		7	5	4	4	8	3
Ranking		8	10	11	11	7	13

Fonte: Composição própria

Figura 50 - Lista com demonstradores e tecnologias representadas. Parte 12/12

Demonstrador	Fábrica de Ensino	Tecnologias		
		Realidade aumentada	Modularidade de produto	Representação virtual
Sistema de localização em tempo real	The PuLL Learning Factory			
Veículo automaticamente guiado				
Sistema "Servus" de Intralogistics				
Sistema de Produção de Economia Circular	TU Braunschweig - Die Lernfabrik			
Linha de Montagem	TU Graz LeanLab			
Máquina de Corte à Laser	TU Wien Learning and Innovation Factory			
Seção de Montagem				
Sistema de Veículos Automaticamente Guiados				
Plataforma de Pedido baseada na nuvem	University of Paderborn			
Sistema com computadores atrelados à componentes				
Repositório de Aprendizagem	MSPPL			
Total		2	3	2
Ranking		15	13	15

Fonte: Composição própria