

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
ENGENHARIA QUÍMICA**

**EVELYN MARIANE SILVA RODRIGUES  
YARA CALABREZ DE OLIVEIRA FRACARO**

**LEARNING FACTORY 4.0: ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO DE ENSINO  
4.0 DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS  
PONTA GROSSA**

**PONTA GROSSA  
2021**

**EVELYN MARIANE SILVA RODRIGUES  
YARA CALABREZ DE OLIVEIRA FRACARO**

**LEARNING FACTORY 4.0: ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO DE ENSINO  
4.0 DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS  
PONTA GROSSA**

**Learning Factory 4.0: Case Study of the Teaching Laboratory 4.0 of the Federal  
Technological University of Paraná – Ponta Grossa Campus**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção e Engenharia Química, do Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção e Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



## TERMO DE APROVAÇÃO

Learning Factory 4.0: Estudo de Caso do Laboratório de Ensino 4.0 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa.

por

Evelyn Mariane Silva Rodrigues

Yara Calabrez de Oliveira Fracaro

Monografia apresentada no dia 18 de novembro de 2021 ao Curso de Engenharia de Produção e Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. As candidatas foram arguidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado com restrições.

---

Profa. Dra. Fernanda Tavares Treinta  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri  
(UTFPR)

---

Profa. Dr. Rui Tadashi Yoshino  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

“O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”.

## RESUMO

RODRIGUES, Evelyn M. S., FRACARO, Yara C. O. **LEARNING FACTORY 4.0: ESTUDO DE CASO DO LABORATÓRIO DE ENSINO 4.0 DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS PONTA GROSSA**. 2021. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) e (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

A Indústria 4.0 e suas tecnologias vem transformando a maneira como as organizações atuam em suas cadeias produtivas fomentando a era da digitalização, revolucionando as relações interpessoais e as formas de ensino e aprendizagem. Sendo o setor educacional um dos responsáveis em desenvolver novas habilidades e competências para proporcionar conhecimento, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de melhoria do Laboratório de Ensino 4.0 da UTFPR-PG em um modelo *Learning Factory 4.0*. Para isto, foi realizada uma revisão sistemática utilizando a metodologia PRISMA com o apoio dos softwares Mendeley e VosWier, para identificar as principais características, componentes de sustentação e os modelos de ensino *Learning Factory 4.0*, presentes em um ambiente de ensino focado na Indústria 4.0. Com base nesse portfólio, foi possível identificar que os elementos metodológicos e tecnológicos são essenciais para melhorar os laboratórios de ensino voltados para a Indústria 4.0 da UTFPR-PG em um modelo de *Learning Factory 4.0*. Como proposta de melhoria metodológica o presente trabalho sugere a inserção do conhecimento teórico específico de CPS e Inteligência Artificial, e no âmbito tecnológico, investimentos em tecnologias que envolvem os pilares da Indústria 4.0, uma vez que os projetos desenvolvidos pelas disciplinas *Industry 4.0* e EDP utilizam os laboratórios *Living Lab* e *Industry 4.0* que possuem equipamentos digitalmente interconectados.

**Palavras-chave:** Quarta Revolução Industrial. Educação 4.0. Fábrica de Ensino. Cyber-Physical Systems. Inteligência Artificial.

## ABSTRACT

RODRIGUES, Evelyn M. S., FRACARO, Yara C. O. **Learning Factory 4.0: Case Study of the Teaching Laboratory 4.0 of the Federal Technological University of Paraná – Ponta Grossa Campus.** 2021. 81p. Paper for Graduation Conclusion (Graduation in Industrial Engineering) and (Graduation in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Industry 4.0 and its technologies have been transforming the way organizations operate in their production chains, fostering the digitalization era, revolutionizing interpersonal relationships and ways of teaching and learning. As the educational sector is one of those responsible for developing new skills and competences to provide knowledge, this work aims to present a proposal for improving the Teaching Laboratory 4.0 of UTFPR-PG in a Learning Factory 4.0 model. For this, a systematic review was carried out using the PRISMA methodology with the support of Mendeley and VosWier software, to identify the main characteristics, supporting components and Learning Factory 4.0 teaching models, present in a teaching environment focused on Industry 4.0. Based on this portfolio, it was possible to identify that methodological and technological elements are essential to improve UTFPR-PG's Industry 4.0-oriented teaching laboratories in a Learning Factory 4.0 model. As a proposal for methodological improvement, this work suggests the insertion of specific theoretical knowledge of CPS and Artificial Intelligence, and in the technological sphere, investments in technologies that involve the pillars of Industry 4.0, since the projects developed by the Industry 4.0 and EDP disciplines use the Living Lab and Industry 4.0 laboratories that have digitally interconnected equipment.

**Keywords:** Fourth Industrial Revolution. Education 4.0. Teaching Factory. Cyber-Physical Systems. Artificial intelligence.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Contexto Histórico das Revoluções Industriais .....	16
Figura 2 - As quatro dimensões da Indústria 4.0.....	23
Figura 3 - Principais Componentes do Cyber-Physical System .....	24
Figura 4 - Contribuições da IA para a Indústria 4.0 .....	26
Figura 5 - Demandas da Indústria 4.0 para a Educação de Nível Superior .....	32
Figura 6 - Conceito de Fábrica de Ensino .....	34
Figura 7 - Pilares da Fábrica de Ensino e suas transformações .....	35
Figura 8 - Componentes principais da <i>Learning Factory</i> SEPT.....	36
Figura 9 - Etapas do método PRISMA .....	40
Figura 10 - Fluxograma das etapas do método PRISMA .....	41
Figura 11 - Diagrama de fluxo de informação do PRISMA.....	44
Figura 12 - Mapeamento dos clusters de co-ocorrência de palavras-chave .....	48
Figura 13 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica por ano .....	49
Figura 14 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica por país.....	50
Figura 15 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica por <i>Journals</i> .....	51
Figura 16 - Fases MEI-U .....	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura do Trabalho.....	14
Quadro 2 - Levantamento de Impactos - ABDI.....	17
Quadro 3 - Benefícios da Indústria 4.0.....	19
Quadro 4 - Definição dos 9 pilares de sustentação da Indústria 4.0 .....	21
Quadro 5 - Ambiente facilitadores para Indústria 4.0 .....	29
Quadro 6 - Formas de desenvolvimento de competências baseados no trabalho ....	37
Quadro 7 - Características da classificação da pesquisa.....	39
Quadro 8 - Eixos de Pesquisa e respectivas palavras-chave.....	42
Quadro 9 - Sintaxe de entrada nas bases de dados e quantidade de trabalhos científicos retornados.....	43
Quadro 10 - Portfólio final de artigos.....	46
Quadro 11 - Palavras-chave com maior número de artigos indexados.....	49
Quadro 12 - Modelos de <i>Learning Factory</i> 4.0.....	52
Quadro 13 - Pré-requisitos Disciplinas Industry 4.0 e EDP .....	60
Quadro 14 - Plano de Atividades para a disciplina Indústria 4.0 .....	61
Quadro 15 - Projetos e Segmentos Industriais atendidos .....	63
Quadro 16 - Infraestrutura dos laboratórios Living Lab e Industry 4.0 Lab.....	64
Quadro 17 - Comparativo das metodologias ranqueadas pela literatura x presentes na UTFPR - PG necessárias para a melhoria do Lab 4.0 para LF 4.0. ...	67
Quadro 18 - Comparativo das tecnologias ranqueadas pela literatura x presentes na UTFPR - PG necessárias para a melhoria do Lab 4.0 para LF 4.0. ...	69

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	PROBLEMA	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	JUSTIFICATIVA	12
1.4	DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
2.1	INDÚSTRIA 4.0	15
2.1.1	Direcionadores e Benefícios da Indústria 4.0	18
2.1.2	Os Nove Pilares de Sustentação para a Indústria 4.0	20
2.1.3	Cyber-Physical Systems (CPS)	23
2.1.4	Inteligência Artificial (IA)	25
2.2	EDUCAÇÃO PARA A INDÚSTRIA 4.0	28
2.2.1	Importância da capacitação de profissionais para Indústria 4.0	28
2.2.2	Ensino Prático para a Indústria 4.0	31
2.3	LEARNING FACTORY	33
2.4	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	38
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>39</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	39
3.2	FASES DA METODOLOGIA	40
3.2.1	Definições iniciais	41
3.2.2	Definição dos critérios de busca	42
3.2.3	Identificação	43
3.2.4	Seleção	43
3.2.5	Elegibilidade, inclusão dos artigos selecionados, organização e escrita	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>46</b>
4.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	46
4.2	ANÁLISE DE CONTEÚDO	52
4.3	ESTUDO DE CASO	57
4.3.1	Abordagem Metodológica de Ensino	57
4.3.2	Abordagem Tecnológica de Ensino	63
4.4	PROPOSTA DE MELHORIA DO LABORATÓRIO DE ENSINO 4.0 DA UTFPR-PG EM UM MODELO DE LEARNING FACTORY 4.0	66
4.5	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	72
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>75</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial tem criado demandas ao redor do mundo, e alertado para a urgência de transformação em diversas áreas do conhecimento. Conseqüentemente, o ambiente industrial necessita de profissionais capacitados para operar nos novos modelos digitais. A transformação que atinge as dimensões físicas, tecnológicas, interativas, também afetam o fator biológico, ou seja, os seres humanos envolvidos nos processos e a relação homem-máquina (MIAN et al., 2020).

Países como a Alemanha, pioneira do tema, já defendem a capacitação com base na prática, para que a atual revolução possa deixar o cenário teórico-ideológico, e possa evoluir para a implementação na realidade e geração dos tantos benefícios que vêm sendo previstos nos últimos anos (GRØN; LINDGREN; NIELSEN, 2020).

Uma gama de competências essenciais para a Indústria 4.0 estão sendo identificadas com o intuito de conscientizar e guiar instituições de ensino ao desenvolvimento de novos métodos para a educação. No entanto, os resultados são inconclusivos dado a grande quantidade de competências, abrindo oportunidades de novas abordagens e desenvolvimento educacionais (YOSHINO et al., 2020).

Diante de tal cenário, tem surgido a necessidade de se pesquisar por novas maneiras de capacitar a força de trabalho para desenvolvimento cognitivo e aplicado. O mercado de trabalho espera que os estudantes de graduação saiam familiarizados com as formas de gerir, produzir e decidir, sendo capazes de acompanharem a evolução da indústria. Soma-se a importância do uso da simulação em treinamentos práticos para melhor entendimento dos aprendizes e incentivo ao pensamento com atitude responsável e ativa para atingir objetivos (GARCIA et al., 2019).

De acordo com o estudo VDI focado no treinamento em engenharia para transformação digital, entre os diversos sistemas de incentivos para a promoção de processos de transformação digital, os mais difundidos são as medidas destinadas para o ensino prático, seguido pelos programas de financiamento para implementação de conteúdo digital especializado, e pôr fim a implementação do ensino digitalizado (GOTTBURGSEN et al., 2019).

Segundo Kamarov (2019) as *Learning Factories* são uma maneira eficiente no ensino prático, e fornecem profunda compreensão sobre a Indústria 4.0, possibilitando a exploração de seus conceitos e ferramentas de forma aplicada,

minimizando obstáculos burocráticos, e proporcionando experiência aos estudantes de forma segura, flexível e motivadora.

Um ambiente ideal para a aprendizagem incentiva a colaboração, a criatividade, a curiosidade, e o compartilhamento de conhecimento com liberdade e confiança tanto entre equipes de acadêmicos quanto entre os *stakeholders*. Entre esses ambientes, destacam-se os institutos de pesquisa e ensino, órgãos de capacitação e principalmente todo o setor industrial e empresas de serviços. Essa união mostra que a multidisciplinaridade e esforços colaborativos, alimentam positivamente o ambiente de ensino, causando, portanto, uma evolução da educação tão aspirada para a Indústria 4.0 (HASAN; MALLIK; TSOU, 2020).

## 1.1 PROBLEMA

A velocidade que a Indústria 4.0 se infiltra na necessidade de companhias e organizações ao redor do mundo, evidencia a falta das competências necessárias para acompanhar o mercado de trabalho.

De acordo com Umachandran et al. (2018), as mudanças dessa nova era 4.0 no mundo físico e digital pedem uma preparação tecnológica para as novas tecnologias (incluindo: simulação, integração de softwares, *Industrial Internet of Things* – IIoT, robótica, comunicação entre máquinas, Internet dos Serviços, *Big Data Analytics*, ciência dos dados, *Cloud* - Nuvem, Impressão 3D, Realidade Virtual e Aumentada, *Cyber-Physical Systems* - CPS, Inteligência Artificial e Customização em Massa), que atuam como direcionadores para competitividade no mundo dos negócios.

Ainda nesse contexto, conforme Sackey, Bester e Adams (2017), deve-se desenvolver as áreas de Analítica Avançada, Interfaces Homem-Máquina, Transferência de tecnologia de digital para o físico, e Comunicação de dados e Redes para se ter uma ação de resposta aos novos requisitos de competências exigidas.

Considerando a visão dos autores Umachandran et al. (2018) essas habilidades possuem um impacto global, uma vez que, a Indústria 4.0 proporciona um encolhimento das distâncias pela conexão digital, promove a igualdade e proporciona troca de conhecimento e matérias em tempo real, essas devem ser abrangidas por todas as instituições de ensino.

Pensando nesse ambiente favorável e diferenciado, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Campus de Ponta Grossa (UTFPR-PG) atualmente oferece ao seu corpo estudantil as disciplinas *Industry 4.0* e *Engineering Design Process* (EDP), juntamente com os laboratórios de ensino *Living Lab* e *Industry 4.0 Lab*, como forma de ensino prático voltado a Indústria 4.0, proporcionando o desenvolvimento de projetos e soluções inovadoras em parcerias com indústrias. Entretanto se faz necessário a realização de um estudo pontuando as ações de melhoria a serem implementadas na instituição como um todo para atingir um modelo *Learning Factory 4.0*. Diante de tal situação, formulou-se a questão problema que norteou a pesquisa:

**Quais os elementos necessários para melhorar o laboratório de ensino 4.0 da UTFPR-PG em um modelo de *Learning Factory 4.0* a fim de ampliar o ensino prático voltado para a Indústria 4.0?**

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar uma proposta de melhoria do laboratório de ensino 4.0 da UTFPR-PG em um modelo *Learning Factory 4.0*.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar as características pertinentes à Indústria 4.0 no cenário mundial e brasileiro;
- b) Estabelecer os componentes de sustentação da Indústria 4.0;
- c) Identificar os impactos da Indústria 4.0 no setor educacional e a importância de seu desenvolvimento para a economia, instituições de ensino e a sociedade como um todo;
- d) Identificar e compilar os modelos, metodologias e tecnologias existentes no contexto de *Learning Factory 4.0*;
- e) Apresentar o modelo de ensino prático empregado pela UTFPR-PG;
- f) Comparar as metodologias e tecnologias identificadas na literatura com a que tem sido executada na UTFPR-PG;

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Revoluções industriais tem a característica de gerar pressão no cenário industrial. Há relutância em aderir ideologias radicais de alto investimento nas empresas devido as incertezas do retorno dos investimentos a serem feitos para implementar melhorias, como os presentes na Indústria 4.0. Isto advém da falta de ambientes seguros em que se possa conduzir testes que comprovem, em alto nível de confiança, todos os ganhos de produtividade prometidos (HINCAPIE et al., 2020).

Rußmann et al. (2015) abordou a *Cybersecurity*, segurança cibernética, destacando as incertezas e riscos envolvidos na aplicação das tecnologias da Indústria 4.0, pois as organizações, mesmo reconhecendo impactos positivos para a produtividade, lucratividade e eficiência, ainda relutam em adaptar seus negócios, já que possuem dados críticos de alta confidencialidade. A digitalização de processos e atividades industriais precisam de armazenamento e compartilhamento de dados por meio bancos de armazenamento de dados (*Big Data*) e integração de sistemas pela nuvem (*Cloud Computing*) para rodarem em tempo real com eficiência. Esse fator acaba por gerar desconforto por ainda serem consideradas vulneráveis.

Os autores Baena et. al. (2017) e Sackey et. al. (2017) em suas respectivas percepções, propõem as *Learning Factories (LF)* como uma alternativa de menor custo e segura para o aprendizado e testagem das novas tecnologias.

Segundo Kamarov (2019), a integração vertical e horizontal de sistemas, exigem habilidades técnicas, *hard skills*, como o gerenciamento de operações no mundo físico e digital, no *Big Data Analytics*. Em seu modelo de *Learning Factory* possui oportunidade de seus estudantes terem contato com essa tecnologia de forma semelhante ao cenário que se teria realmente na indústria, dessa forma os alunos podem aprender sem comprometer a integridade de uma empresa real durante o aprendizado.

Um laboratório de Indústria 4.0, aliado a uma metodologia de ensino prático, serve como ambiente de aprendizado estimulante para estudantes, que ingressarão futuramente no mercado, a explorarem e contribuirão com as tecnologias. Além disso, os estudantes podem participar ativamente em soluções para os desafios segurança de dados, bem como atuarem em projetos benéficos para o setor industrial do país (KUMAR et al., 2021).

Desta forma, o presente trabalho contribuiu, através do tema proposto, nos seguintes âmbitos:

1. Acadêmico: geração de material com identificação das características e componentes de sustentação da Indústria 4.0, além da realização da revisão de literatura quanto as principais metodologias e tecnologias elencadas aos modelos de *Learning Factory 4.0*.
2. Social: elaboração de melhoria de um ambiente favorável aos alunos e a sociedade como um todo, visando a preparação e capacitação prática de ensino de qualidade, com visão voltada a cadeia de valor e processos produtivos, a fim de torná-los profissionais atrativos para o mercado trabalho da quarta revolução industrial;
3. Econômico: levantamento das tecnologias digitais complementares que devem ser investidas futuramente para a melhoria do laboratório de ensino 4.0 a um modelo de *Learning Factory 4.0* para a UTFPR-PG, estimulando a adaptação das indústrias ao cenário da quarta revolução industrial e consequentemente aumentando a demanda de empregabilidade para o setor.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta proposta delimitou-se para a área da educação, focada ao ensino prático aplicado para a Indústria 4.0. Respalda-se nos modelos existentes de *Learning Factory* e a presença de metodologias e tecnologias necessárias para o treinamento dos alunos de graduação, e pós-graduação dos 13 campi da Rede UTFPR. Foi estudado os modelos existentes de *Learning Factory 4.0* presente na literatura, por meio de uma revisão bibliográfica, utilizando a metodologia PRISMA, contemplando o período de publicação de 2013 a 2021, a fim de que a proposta atendesse todas os elementos que devem ser desenvolvidos nas vertentes metodológicas e estruturais existente da UTFPR-PG para uma capacitação robusta.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos, incluindo este em questão. Após a introdução realizada no Capítulo 1, apresenta-se na sequência o Capítulo 2, onde se encontra a fundamentação teórica, abordando a Indústria 4.0, Educação 4.0 e contexto do conceito de *Learning Factory* 4.0. No Capítulo 3 é apresentado o procedimento metodológico no desenvolvimento da revisão de literatura e da coleta de dados para o estudo de caso. O Capítulo 4 expõem os resultados e suas respectivas análises. Por último, o Capítulo 5 discorre sobre as considerações finais desta pesquisa, e a continuidade do trabalho em pesquisas subsequentes.

O Quadro 1 expõe a estrutura do trabalho por capítulo, bem como seus respectivos temas abordados, elencando com as entregas necessárias para o cumprimento do trabalho.

**Quadro 1 - Estrutura do Trabalho**

CAPÍTULO	DESCRIÇÃO	OBJETIVOS CONSOLIDADOS
1 – Introdução	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Introdução</li> <li>● Problema</li> <li>● Objetivos (geral e específicos)</li> <li>● Justificativa</li> <li>● Delimitação do tema</li> <li>● Estrutura do trabalho</li> </ul>	- - - - - -
2 – Referencial Bibliográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Indústria 4.0</li> <li>● Educação para Indústria 4.0</li> <li>● <i>Learning Factory</i></li> </ul>	Objetivo específico: a, b Objetivo específico: c
3 – Metodologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Classificação da pesquisa</li> <li>● Fases da Metodologia</li> </ul>	- -
4 – Resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Análise Bibliométrica</li> <li>● Análise de Conteúdo</li> <li>● Estudo de Caso</li> <li>● Proposta de Melhoria do Laboratório de Ensino 4.0 da UTFPR-PG em um modelo de <i>Learning Factory</i> 4.0</li> </ul>	- Objetivo específico: d Objetivo específico: e, f Objetivo geral
5 – Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Considerações Finais</li> </ul>	-

**Fonte: Autoria própria**

Com base na estrutura apresentada no Quadro 1, o capítulo a seguir explana os principais conceitos que embasam esse trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados os conceitos mais relevantes pesquisados na literatura, e que norteiam o *mindset* do presente estudo. Tais conceitos são essenciais para a compreensão e ambientação do contexto, a fim de cumprir com os objetivos propostos.

O presente capítulo está dividido em um breve histórico sobre a quarta revolução industrial, com seus principais conceitos norteadores e pilares de sustentação. Seguido de uma seção sobre a educação para a Indústria 4.0, abrangendo a importância para a economia e sociedade acerca do desenvolvimento de um modelo de ensino em Indústria 4.0. As duas últimas seções apresentam os conceitos das tecnologias facilitadoras CPS (*Cyber-Physical System*) e Inteligência Artificial (IA) para integração e conectividade desejáveis à modelos *Learning Factory* (LF), metodologia de aprendizado prático para estudantes e profissionais da indústria.

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

O mercado de trabalho passou por sucessivas revoluções industriais que transformaram a manufatura e os comportamentos da sociedade em termos de consumo e força de trabalho. Estas revoluções carregam esse nome por terem causado impactos a nível mundial, em decorrência dos ganhos expressivos à produtividade e lucratividade nas atividades industriais (OZTEMEL; GURSEV, 2018).

As novas tecnologias digitais trouxeram ao mercado de trabalho, mais uma vez, a visão emergencial de entendimento, exploração e capacitação. A era digital, em questão, conforme a aderência das indústrias, foi identificada como a quarta revolução industrial, também conhecida por Indústria 4.0 ou ainda, Industry 4.0 (RUßMANN et al., 2015).

As quatro revoluções industriais são resumidamente ilustradas na Figura 1, a qual expõem suas principais características disruptivas em ordem cronológica.

**Figura 1 - Contexto Histórico das Revoluções Industriais**



Fonte: Adaptado de RUßMANN et al. (2015)

Através dos ícones ilustrativos, nota-se na Figura 1, a constante evolução do setor industrial, vivenciadas e protagonizadas mundialmente, juntamente com os seus respectivos destaques interdependente entre as eras (RUßMANN et al.,2015)

A Primeira Revolução Industrial marcou o final do século dezoito e início do século dezenove com a implementação de sistemas mecânicos de produção movidos a vapor. A Segunda Revolução Industrial, mais ao fim do século dezenove, possibilitou por meio da energia elétrica, a produção em massa perdurando até a metade do século vinte e um, quando a Terceira Revolução Industrial substituiu parte do trabalho manual, com sistemas microeletrônicos e sistema da informação, tornando a manufatura automatizada uma realidade (XU et al., 2018). Atualmente a indústria está vivendo mais uma fase de transição, caminhando desta vez para a Quarta Revolução Industrial (BAUER et al., 2013).

O termo "*Industrie 4.0*", "*Industry 4.0*" ou "Indústria 4.0" (I4.0) foi primeiramente usado em 2011 quando um grupo de empresas alemãs anunciaram sua nova estratégia de competitividade na Feira de Hannover, para mais tarde, em 2013, ser anunciada oficialmente pelo país (XU et al., 2018).

"O Governo Federal da Alemanha apresenta a Indústria 4.0 como uma estrutura emergente na qual os sistemas de produção e logística na forma do Sistema de Produção Cibernética Física (CPPS) usam intensivamente a rede de informação e comunicações globalmente disponíveis para uma troca de informações extensivamente automatizada e na qual os processos de negócios são correspondidos" (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, p. 233–238, 2018).



Segundo Vaidya et al. (2018), a quarta revolução industrial visa aumentar a complexidade dos processos de manufatura, mas também os virtualizar, tornando-os mais sustentáveis, além de transformar radicalmente o papel do humano nas linhas de produção.

Diante de tal cenário, a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) em 2020, levantou dados importantes elencados no Quadro 2 sobre a transformação esperada e prevista com o avanço da Indústria 4.0 no Brasil (ABDI, 2020).

**Quadro 2 - Levantamento de Impactos - ABDI**

	A ABDI busca liderar a transformação no Brasil. Os impactos da Indústria 4.0 sobre a produtividade, a redução de custos, o controle sobre o processo produtivo, as customizações da produção, entre outros, apontam para uma transformação profunda nas plantas fabris.
	Segundo levantamento da ABDI, a estimativa anual da redução de custos industriais no Brasil, a partir da migração da indústria para o conceito 4.0, será de, no mínimo R\$ 73 bilhões/ano.
	Essa economia envolve ganhos de eficiência, redução nos custos de manutenção de máquinas e consumo de energia.
	Estruturadas a partir do conceito de Jornada para a Indústria 4.0, as medidas apresentadas devem auxiliar os empresários brasileiros nesta trajetória rumo à transformação digital e ao futuro da produção manufatureira.
	Estratégias empresariais e políticas públicas precisam andar lado a lado. A Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 é resultado de amplo debate com o setor produtivo brasileiro, coordenado pelo MDIC.

**Fonte: ABDI (2020)**

Apesar de ter se tornado popular recentemente, pesquisadores vêm discutindo há muitos anos sobre a Indústria 4.0, bem como seus conceitos e desenvolvimento de tecnologias para torná-la realidade em empresas já existentes, e em novos modelos de negócio (OZTEMEL; GURSEV, 2018). A seção a seguir, apresenta o *mindset* do contexto comportamental por meio da listagem dos principais direcionadores da Indústria 4.0 encontrados na literatura.

### 2.1.1 Direcionadores e Benefícios da Indústria 4.0

A presença de sistemas automatizados e nível de robotização para a manufatura já eram presentes na terceira revolução industrial, conforme visto na Figura 1. Entretanto, com a Indústria 4.0 percebe-se que a relação entre esses sistemas e suas informações têm sido mais evidentes e perceptíveis de transformação.

Qin et al. (2016) relatam que mesmo havendo ampla presença de sistemas robotizados em empresas, a mão de obra e outros recursos ainda apresentam ineficiência e geram altos custos para a execução de tarefas básicas triviais da manufatura, como controle, inspeção e manutenção. Porém, os autores destacam que a nova era digital trará benefícios de produtividade com a adoção das tecnologias da Indústria 4.0.

Os benefícios proporcionados pela Indústria 4.0 advêm principalmente dos avanços em tecnologias da informação e comunicação, que permitem otimizar e implementar novas formas de gestão, conectividade e fluxo de informações na manufatura (BAENA et al., 2017). Centea et al. (2019) sintetizam que a digitalização fortalece a gama de dados e informações de valores para o aumento da performance e eficiência por meio do tratamento e análises mais assertivas. Além de trazer mais transparência para a cadeia produtiva.

De acordo Alcácer e Cruz-Machado (2019), o diferencial da Indústria 4.0 está atrelado em conectar o mundo físico ao mundo digital, integrando os sistemas, processos e máquinas. A expressiva transformação digital presente na Indústria 4.0 visa transformar a produção, a forma de atuação no mercado e criação de novos negócios (ALCÁCER; CRUZ-MACHADO, 2019). Adiciona-se aos benefícios, a alta flexibilidade, consumo consciente de recursos na produção, resultando em engenharia em massa, e maiores níveis de customização de produtos, simultaneamente (LICHTBLAU et al., 2015).

Segundo Rößmann et al. (2015), espera-se uma troca do sistema atual de células automatizadas por ambientes totalmente automatizados, integrados e capazes de comunicarem-se uns com os outros, proporcionando velocidade e qualidade, com impactos positivos nos ganhos de produtividade em até 8%, como foi mostrado em seu estudo na Alemanha. Estima-se um período de 10 anos para ocorrer a migração

para a Indústria 4.0 e impulsionar a produtividade no setor industrial (LICHTBLAU et al., 2015).

Os autores Umachandran et al. (2018) também elencaram alguns benefícios que a Indústria 4.0 pode trazer para o empreendimento de forma sintetizada e consonante com os demais autores mencionados anteriormente. Esses benefícios e suas respectivas descrições são apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3 - Benefícios da Indústria 4.0**

<b>BENEFÍCIOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Produtividade	Visa eliminar desperdícios e erros, aumentar a produção e encurtar tempo de ciclo.
Flexibilidade	Promove personalização de produtos, produção eficiente e largo controle da produção.
Competitividade	Promete baixar o custo de produção, promover soluções inovadoras e dar respostas flexíveis para flutuação de demanda.
Lucratividade	Irá explorar as vantagens da produção em massa, otimizará processos, trabalhará com baixos estoques e melhorará indicadores de eficiência de produção.
Segurança	Aplicação de Softwares de prevenção de defeitos, sensores de segurança ao trabalhador e reação imediata.
Ecologia	Eliminação de objetos em desuso, aplicação de soluções verdes e utilização de energias renováveis.

**Fonte: Umachandran et al. (2018)**

De modo geral, observa-se que os benefícios oriundos da inserção dos conceitos proeminentes da Indústria 4.0 visam prover maior autonomia e independência na troca de informações entre máquinas e sistemas, já existentes no chão de fábrica, sem a necessidade da constante intervenção humana (UMACHANDRAN et al., 2018).

Segundo o estudo realizado por Basseto (2019) há 25 componentes que norteiam a migração, bem como a maturidade, das indústrias no contexto da Indústria 4.0, sendo eles: (1) CPS (Cyber-Physical System), (2) IoT (Internet of Things), (3) IoS (Internet of Service), (4) Cloud Manufacturing (Computação em nuvem), (5) Fog Computing (Computação em névoa), (6) Inteligência Artificial, (7) Information Security (Segurança da Informação), (8) Sistemas Embarcados, (9) PLM - Product Lifecycle Management (Gerenciamento do ciclo de vida do produto), (10) SM - Smart Manufacturing (Manutenção Inteligente), (11) Fabricação Aditiva (3D –

Tridimensional), (12) Simulação, (13) Holograma, (14) AR - Aumented Reality (Realidade aumentada), (15) VR - Virtual Reality (Realidade Virtual), (16) Smart Productions (Produtos Inteligentes), (17) Smart Sensores (Sensores Inteligentes), (18) CLP - Controlador Lógico Programável, (19) Rede industrial, (20) Integração Vertical, (21) Integração Horizontal, (22) Integração de ponta a ponta, (23) M2M - Machine to Machine, (24) Estratégia de mercado e (25) Marketing 4.0.

Entre os conceitos identificados por Basseto (2019), o presente trabalho dá foco em apenas 11, dando destaque aos componentes *Cyber-Physical Systems* (CPS) e Inteligência Artificial (IA). De acordo com Centea, Singh e Elbestawi (2019) o componente CPS é um dos que mais contribuem para o surgimento de *Learning Factory*. Enquanto a abordagem sobre IA, está atrelada a característica dos projetos desenvolvidos nas disciplinas *Industry 4.0* e *Engineering Design Process* (EDP) ofertadas pela UTFPR-PG.

A definição dos 9 pilares da Indústria 4.0 são abordados detalhadamente na seção seguinte, seguido de uma breve introdução ao CPS e Inteligência Artificial.

### 2.1.2 Os Nove Pilares de Sustentação para a Indústria 4.0

A percepção da chegada de uma nova era industrial despertou a necessidade da busca por tecnologias viabilizadoras. A Indústria 4.0 tem mostrado a Fábrica Inteligente, conhecidas como *Smart Factories*, como seu principal resultado emergente (BENEŠOVÁ; TUPA, 2017).

Sabe-se que para as empresas, que possuem um sistema de produção consolidado, o custo de possíveis mudanças pode inviabilizar a implementação dos nove pilares. Portanto, há uma preocupação sobre como e por onde iniciar a transição do molde tradicional de manufatura para o molde proposto e visado pela quarta revolução industrial (KIPPER et al., 2021).

De acordo com Xu et al. (2018), a Quarta Revolução Industrial está atualmente em seu auge em decorrência às tecnologias facilitadoras de conectividade de rede para a manufatura. A cada dia, pesquisadores descobrem novas formas de implementá-las no setor, tais como: a inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão em 3D, nanotecnologia, biotecnologia, armazenamento de energia e computação quântica (SCHWAB, 2017).

“Os nove pilares da indústria 4.0 irão transformar células de produção isoladas e otimizadas em fluxos de produção totalmente integrados e mais automatizados. Isso leva a grande eficiência e mudança nos relacionamentos de produção tradicionais entre fornecedores, produtores e consumidores, e entre o relacionamento homem-máquina” (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, p. 233–238, 2018).

Os países mais industrializados têm participado de uma corrida em direção a implementação das tecnologias da Indústria 4.0, por meio da criação de programas nacionais e internacionais de integração de tecnologias ao meio industrial (SAUZA et al., 2017). Dessa forma surgiram os nove pilares de sustentação da quarta revolução industrial apresentados no Quadro 4, juntamente com suas principais características.

**Quadro 4 - Definição dos 9 pilares de sustentação da Indústria 4.0**

PILAR	DESCRIÇÃO	FONTE
<b>Big Data e Analytics</b>	Realização de uma análise a partir de uma base de dados com extensivo conjunto de dados, no qual grande parte dos dados, passa a fazer parte das informações das indústrias, e traz como resultados economia de recursos, ganhos de qualidade na produção e melhoria no desempenho de equipamentos.	Litchblau et al. (2015) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)
<b>Robôs autônomos</b>	Evolução de robôs utilizados em indústrias para um comportamento independente, flexível e cooperativo. São programados para executarem suas atividades de forma interativa com humanos e com outros robôs. Espera-se melhorias em termos de custo e capacidade de atuação nas plantas industriais.	Litchblau et al. (2015) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)
<b>Simulação</b>	Utilização de dados em tempo real, como uma cópia digital de todos os elementos da produção, podendo auxiliar em testes para a produção em prazos mais curtos, e para tomada de decisões mais urgentes, impactando positivamente tempos de <i>set-up</i> de máquinas e controle de qualidade.	Litchblau et al. (2015) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)
<b>Sistemas de Integração</b>	Propõem mais coesão para a forma como as empresas tratam as redes de dados integrados, proporcionando cadeia de valor mais evoluída e facilitadora em departamentos e capacidade operacional. A Integração Horizontal faz com que a fábrica seja capaz de ajustar seus processos de produção de forma automática em resposta às mudanças de demanda e matérias primas disponíveis. A Integração Vertical utiliza o <i>Cyber-Physical System</i> (CPS), no qual modela pessoas, máquinas, e recursos e interagem entre si pelo sistema.	Litchblau et al. (2015) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)

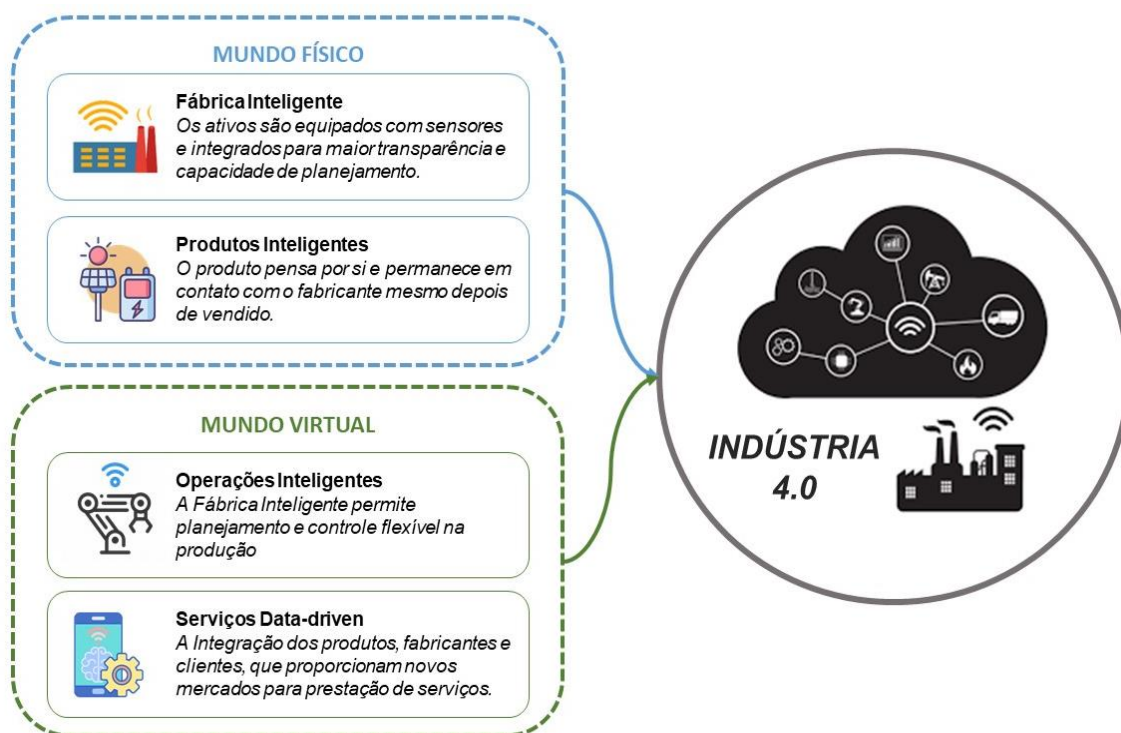
<p><b>Internet of Things (IoT)</b></p>	<p>A utilização de IoT - internet das coisas, no chão de fábrica, tem o objetivo de descentralizar análises e tomadas de decisão, por meio da interação de dispositivos espalhados pelo processo.</p> <p>Proporciona interação entre objetos que conversam com pessoas em tempo real, por meio de tecnologias como RFID, nuvem e conexão wireless.</p> <p>Propicia um aumento da conexão máquina-máquina, homem-máquina e aumento expressivo na obtenção de dados.</p>	<p>Acosta (2018) Benesová e Tupa (2017) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)</p>
<p><b>Segurança Cibernética</b></p>	<p>O desenvolvimento de novas tecnologias de segurança – <i>Cybersecurity</i>, é essencial para que empresas se sintam à vontade para implementar protocolos de comunicação e de conectividade, e garantir maior proteção com relação aos dados. Muitas empresas ainda preferem sistemas fechados para manusear dados de processos da produção.</p>	<p>Litchblau et al. (2015) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)</p>
<p><b>Nuvem</b></p>	<p>Trata-se de um serviço de sincronização de dados para acesso, compartilhamento e manipulação de dados em dispositivo fora dos domínios das empresas. Isso permite que, tomadas de decisão e ações possam ser feitas com efeitos em tempo real na fábrica. Implica em melhoria de performance e requer integração entre os sistemas de produção com o sistema da nuvem.</p>	<p>Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)</p>
<p><b>Manufatura Aditiva</b></p>	<p>Possibilita aos produtores atenderem pedidos pequenos e altamente customizados de forma viável, decorrente à simplicidade de produção de geometrias complexas e manufatura de componentes robustos.</p> <p>A impressão 3D é um dos principais métodos utilizados para fabricação de peças únicas e que atendam tais requisitos.</p>	<p>Litchblau et al. (2015) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)</p>
<p><b>Realidade Aumentada (RA)</b></p>	<p>Por meio da utilização de dispositivos móveis, o emprego de RA atende a diversos serviços. Pode atuar desde um treinamento por simulador, até no auxílio de intervenções no processo como <i>set-ups</i>, manutenção entre outros.</p>	<p>Litchblau et al. (2015) Rüßmann et al. (2015) Schwab (2017)</p>

Fonte: Autoria própria

Apesar de existirem estes nove pilares apresentados no Quadro 4, Vaidya et al. (2018) nomeiam quatro principais pilares que sustentam a Indústria 4.0: Internet das Coisas (IoT), Internet das Coisas para Indústria (IIoT), Nuvem, e Manufatura Aditiva. A priorização desses direcionadores se mostram suficientes para iniciar a manufatura em um ambiente inteligente e totalmente digitalizado.

Adicionalmente, para Lichtblau (2015), as tecnologias que sustentam os pilares da Indústria 4.0 devem ser analisadas em quatro dimensões de acordo com o seu potencial de aplicação, conforme ilustrada na Figura 2.

**Figura 2 - As quatro dimensões da Indústria 4.0**



**Fonte: Tradução Própria, Adaptado de Lichtblau et al. (2015)**

Observa-se na representação da Figura 2, que para Lichtblau et al. (2015) a Indústria 4.0 é a união dos mundos físico (Fábrica Inteligente e Produtos Inteligentes) e virtual (Operações Inteligente e Serviços *Data-driven*). A compreensão dessas dimensões facilita a formulação dos conteúdos e tecnologias que devem ser implementadas para a melhoria dos laboratórios voltados ao ensino prático de Indústria 4.0 da UTFPR-PG para um modelo *Learning Factory 4.0*.

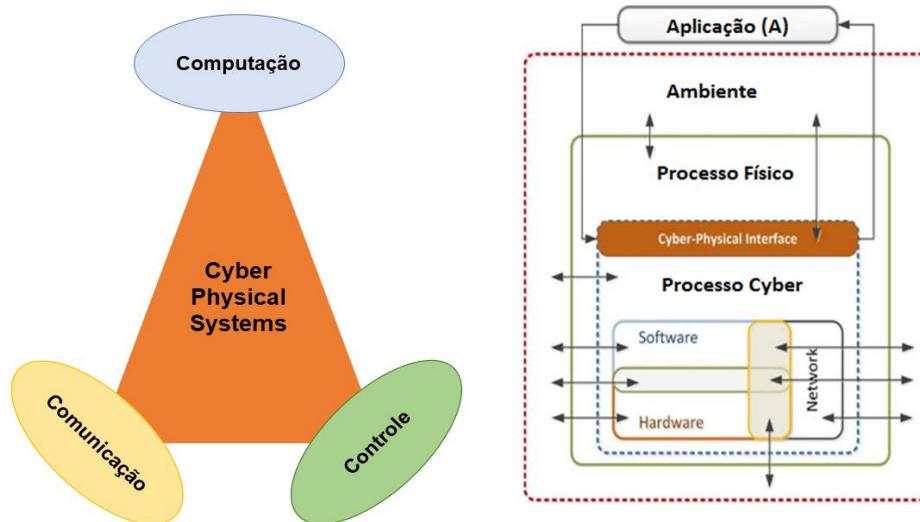
### 2.1.3 Cyber-Physical Systems (CPS)

A fase inicial da transição para a Indústria 4.0 requer uma mudança sistêmica, que serve de sustentação para a melhoria contínua dos nove pilares. A nova era digital é a representação de uma evolução tecnológica de sistemas que compõem *Cyber-Physical Systems* (XU; XU; LI, 2018). Os autores Bauer et al. (2013) também enfatizam que a essência da Indústria 4.0 está na implementação de CPS na manufatura e na logística.

O CPS pode ser definido como sistemas computacionais colaborativos, que usam e fornecem, em tempo real, dados e serviços da rede de internet, para estabelecer controle por meio de fortes conexões com processos do ambiente físico (LU, 2017). Segundo Acosta (2018), é um conjunto de sensores e atuadores controlados por microcontroladores que atuam conjuntamente na criação de Fábricas Inteligentes, dando origem a um gêmeo digital da planta física.

Adicionado da concepção de Kozak et al. (2018), o CPS é formado por um tríptico de componentes computacionais, de comunicação e de controles sensoriais, conforme esquematizado na Figura 3.

**Figura 3 - Principais Componentes do Cyber-Physical System**



**Fonte: Adaptado de Kozak et al. (2018)**

Observa-se na representação da Figura 6 que os processos físicos e computacionais são integrados por três vertentes denotado pelo símbolo C3 (Computação, Comunicação e Controle). As partes do sistema ciberfísico trocam informações entre si, por meio da comunicação que gera melhoria da ligação entre os elementos físicos e computacionais (KOZAK et al., 2018).

Lee et al. (2014) definem que o CPS é composto por seis componentes:

- Conexão, entre sensores e a rede;
- *Cloud*, para armazenamento de dados em demanda;



- *Cyber*, em termos de modelo e memória;
- Conteúdo, e seus significados e correlações;
- Comunidade, em compartilhamento e colaboração;
- Customização, para níveis de personalização e valor agregado.

Nota-se que os 6C's usam a informação de forma a enriquecer estrategicamente o CPS definido por Kozak et al. (2018).

De acordo com Qin et al. (2016), para a implementação do CPS há cinco etapas de desenvolvimento: (1) nível de comunicação, (2) nível de conversão informacional, (3) nível cibernético de automação e controle, (4) nível cognitivo de antecipação e manutenção preditiva, e (6) nível de configuração de inteligência do sistema e capacidade de autoconfiguração.

Já Lozano e Vijayan (2020) trazem um outro posicionamento onde relacionam a importância de uma *Learning Factory* com a melhoria de sistemas CPS, em termos de transferência em tempo real de comunicação entre plataformas de hardwares e softwares. Para os autores, as três principais etapas de desenvolvimento de produtos, produção e montagem do produto, em um ambiente de teste e em escala reduzida, podem ser um ambiente de suporte em metodologias mais eficientes para desenvolvimento de CPS.

Além do CPS, outra tecnologia facilitadora para o desenvolvimento de projetos com foco na Indústria 4.0 é a Inteligência Artificial (IA), que é elucidada na seção a seguir.

#### 2.1.4 Inteligência Artificial (IA)

O contexto atual de mudança do cenário das indústrias para Indústria 4.0 tem gerado novos desafios em termos de demanda de mercado e concorrência. Para isso, tem sido abordado a integração da Inteligência Artificial (IA) com as com as tecnologias digitais recentes, como por exemplo a *Internet of Things (IoT)*, *Big Data* e *Analytics*, Nuvem e Sistemas de Segurança Cibernética (LEE et al., 2018).

De acordo com Peres et al. (2020) a IA pode ser definida como uma subárea da ciência da computação, que lida com o desenvolvimento de sistemas de

processamento de dados associadas à inteligência humana, como raciocínio, aprendizagem e autoaperfeiçoamento.

Os autores Chen; Chen; Lin (2020) afirmam que a Inteligência Artificial engloba o desenvolvimento de algoritmos em máquinas que proporcionam algum nível de inteligência, com a capacidade de realizar funções semelhantes às humanas, incluindo atividades cognitivas, de aprendizagem, tomada de decisão e adaptação ao ambiente.

Lee et al. (2018) complementam a definição de IA como uma ciência cognitiva com atividades de pesquisa nas áreas de processamento de imagem, linguagem natural, robótica, aprendizado de máquina, entre outros. Para os autores, a aplicação dessa tecnologia no setor industrial com bom desempenho dos algoritmos de aprendizado de máquina, por exemplo, depende de investimentos financeiros e de mão de obra qualificada.

O estudo realizado por Chen; Chen; Lin (2020) expõem que a IA tem o potencial de permear e causar mudanças significativas em diferentes setores da sociedade, sendo o setor da educação um dos mais impactado pela IA. Mais especificamente no modelo de ensino e aprendizagem dos alunos. Diante desse contexto a Figura 4 esquematiza como a IA pode contribuir, por meio de pesquisas, nas necessidades e desafios originados pela Indústria 4.0

**Figura 4 - Contribuições da IA para a Indústria 4.0**



Fonte: IPT (2021)

De acordo com a Figura 4 as principais necessidades e desafios pontuados pela Indústria 4.0 podem ser solucionados utilizando as áreas da IA:

- *Machine Learning*: é processo de análise com base em um conjunto de dados de amostragem conhecido como "*dados de treinamento*", gerando padrões significativos e um conhecimento estruturado. Utilizam técnicas como árvore de decisão, programação lógica indutiva, agrupamento, aprendizagem por reforço e redes Bayesianas (CHEN; CHEN; LIN, 2020).
- *Deep Learning*: é um processo de análise que "treina" computadores para desempenhar tarefas como seres humanos, como por exemplo reconhecimento de fala, identificação de imagem e previsões (CHEN; CHEN; LIN, 2020).
- Visão Computacional: é a tecnologia presente em máquinas que "enxergam", por meio da construção de sistemas artificiais que obtém informação de imagens ou quaisquer dados multidimensionais (CHEN; CHEN; LIN, 2020).
- Redes Neurais: são sistemas que atuam como nós interconectados e que atuam como os "neurônios" de um cérebro humano. Através de algoritmos, o sistema pode reconhecer padrões e correlacionar dados brutos, agrupá-los e classificá-los (PERES et al., 2020).
- Agentes Autônomos e Sistemas Multiagentes: concentram-se no estudo de agentes autônomos em um sistema multiagente. Atuam como se os agentes desempenhassem uma "existência própria", independentemente da existência de outros agentes (PERES et al., 2020).

De acordo com os autores supracitados nessa subseção, observa-se que as vertentes proporcionadas pelos conceitos da IA são interessantes para compor a estrutura de projetos voltados para soluções inovadoras para a Indústria 4.0.

A seção seguinte discute os impactos da Indústria 4.0 frente às mudanças necessárias das competências profissionais e metodologias educacionais, visando gerar meios de desenvolvimento de manufatura digitalizada e adequação da mão de obra ao mercado de trabalho.

## 2.2 EDUCAÇÃO PARA A INDÚSTRIA 4.0

Em decorrência às tecnologias disruptivas emergentes resultantes da Indústria 4.0, muitas profissões deixarão de existir nos anos subsequentes, dando lugar à profissionais com nível de capacitação correspondente às novas posições que surgirão. Com a emergência de novas tecnologias, faz-se necessário a capacitação da força de trabalho para atuar em *Smart Systems* da Indústria 4.0 (SACKEY; BESTER; ADAMS, 2017).

A *European Commission* (2017), destaca à crescente demanda por profissionais atentos às inovações digitais, e reforça suas consequentes transformações ao setor produtivo europeu. Aliado a essas mudanças, surgem novos ofícios que requerem habilidades específicas. Paralelamente, a invasão mais acentuada da automação autônoma, tende extinguir milhões de profissões desempenhadas por pessoas.

Diante dos fatores citados anteriormente, a seguir são expostos argumentos levantados na revisão bibliográfica, que destacam a importância da presença de um modelo estruturado de capacitação profissional voltado para a educação da Indústria 4.0, bem como seus impactos na economia e sociedade.

### 2.2.1 Importância da capacitação de profissionais para Indústria 4.0

De acordo com Litchblau (2015), apenas 30% das empresas avaliadas, em seu estudo, disseram não possuírem competências essenciais para avaliar o quadro de funcionários frente aos requisitos da Indústria 4.0. Os estudos realizados por Rübmann et al. (2015) esperam que haja grandes impactos na forma de treinamento da força de trabalho, e nos requisitos analisados em recrutamentos para suprir essas lacunas.

Tais necessidades entre outras, estimularam a Comissão Europeia a organizar uma forma de medir o nível de competitividade de novos talentos. A instituição criou uma ferramenta para diagnosticar o cenário atual do nível de competência da força de trabalho para a Indústria 4.0 (EUROPEAN COMMISSION, 2017).

O estudo inicial foi estabelecido com 100 economias mundiais, onde avaliou-se criteriosamente os níveis de competitividade para novos talentos, a fim de esclarecer, direcionar e guiar estas economias ao desenvolvimento educacional na era digital. O indicador denominado por *The Global Talent Competitiveness Index* (GTCI) – Índice Global de Competitividade em Talentos é definido como:

“[...] trata-se de um relatório de *benchmarking* anual que mede a habilidade dos países em competir na categoria de talentos. Pensado para ser uma ferramenta prática para governos, negócios e organizações sem fins lucrativos. O GTCI classifica mais de 100 economias de acordo com sua habilidade em desenvolver, atrair e reter talentos” (Tradução própria EUROPEAN COMMISSION, 2017, p.41).

Após a criação da métrica GTCI, pode-se notar ascendência sobre a questão de capacitação pessoal e seus impactos por meio do Relatório de Competitividade Global (*The Global Competitiveness Report*) publicado pelo *The World Economic Forum*, em 2018. Neste relatório consta um portfólio com indicadores que ranqueia os países que possuem ambientes facilitadores para o desenvolvimento de profissionais da Indústria 4.0, conforme apresentado no Quadro 5.

**Quadro 5 - Ambiente facilitadores para Indústria 4.0**

Economia	Índice de Competitividade Global 4.0		1. Instituições		2. Infraestrutura		3. Adoção de TIC		4. Estabilidade Macroeconômica	
	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score
Estados Unidos	1	85,6	13	74,6	9	89,5	27	71,2	34	99,6
Cingapura	2	83,5	3	80,7	1	95,7	4	85,2	42	92,6
Alemanha	3	82,8	16	73,5	7	90,2	31	69,3	1	100
Suíça	4	82,6	5	77,1	3	93,3	15	77	36	99,4
Japão	5	82,5	20	71,1	5	91,5	3	87,4	41	93,9
Países Baixos	6	82,4	4	77,9	4	92,4	19	75,1	1	100
Hong Kong	7	82,3	6	76,9	2	94	2	87,9	1	100
Reino Unido	8	82	7	79,8	11	89	28	71,1	1	100
Suécia	9	81,7	9	76	17	84,4	5	85,2	1	100
Dinamarca	10	80,6	10	75,9	14	86,3	8	82,3	1	100
Canadá	12	79,9	11	75,5	25	80,6	34	68,6	1	100
Austrália	14	78,9	15	73,6	31	77,9	22	73,5	1	100
Rep. da Coreia	15	78,8	27	65,4	5	91,3	1	91,3	1	100
França	17	78,2	23	69,5	8	90,1	29	71,1	33	99,9
Israel	20	76,6	26	66,3	20	83,3	39	66,7	38	99,1
Emir. Árabes	27	73,4	19	71,8	15	86,2	6	83,7	1	100
China	28	72,6	65	54,6	29	78,1	26	71,5	39	98,3
Itália	31	7,08	56	56,4	21	83,1	58	60,3	58	85
Chile	33	70,3	32	63,6	41	75,2	49	61,3	1	100
Arábia Saudita	39	67,5	39	62,2	40	75,5	54	59,9	1	100
Fed. Russa	43	65,6	72	52,7	81	72,2	25	72,1	55	87,5
Indonésia	45	64,9	48	57,9	71	66,8	50	61,1	51	89,7
México	46	64,6	105	47,7	49	72,9	76	51,3	35	99,4

<b>Índia</b>	58	62,0	47	57,9	63	68,7	117	28	49	89,8
<b>Colômbia</b>	60	61,6	89	50,3	83	63	84	46,7	56	87,3
<b>Turquia</b>	61	61,6	71	52,9	80	72,6	71	53,5	116	67,4
<b>Peru</b>	63	61,3	90	50,2	86	62,4	94	43,9	1	100
<b>África do Sul</b>	67	60,8	69	53,8	64	68,6	85	46,1	57	86,7
<b>Brasil</b>	<b>72</b>	59,5	<b>93</b>	49,7	81	64,3	66	55,6	<b>122</b>	64,6
<b>Argentina</b>	81	57,5	77	51,5	68	67,6	65	56,2	136	44,9

Fonte: Adaptado de World Economic Forum (2018)

De acordo com o Quadro 5, o Índice de Competitividade Global 4.0 mede o nível de produtividade de um país, isto é, avalia os pilares instituições, infraestrutura, adoção de TIC e estabilidade macroeconômica, que em conjunto determinam o nível de prosperidade que pode ser alcançado por uma economia. No ranking apresentado, em 2018 os países Estados Unidos, Cingapura, Alemanha, Suíça e Japão lideram as cinco primeiras posições de produtividade.

A avaliação do conjunto instituições, infraestrutura, adoção de TIC e estabilidade macroeconômica ponderam os ambientes facilitadores. Pois, o ambiente institucional de um país depende do envolvimento e interesse dos setores público privado. Uma infraestrutura ampla e eficiente tem condições de assegurar o funcionamento eficaz da economia. A adoção de tecnologias da informação (TIC) aumenta a eficiência econômica geral, e ajudam a garantir que as empresas possam se comunicar e as decisões sejam tomadas. E por fim, a estabilidade do ambiente macroeconômico é importante para os negócios e, portanto, é significativo para a competitividade geral de um país (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018).

Dessa forma, observa-se no Quadro 5 que a quantidade total de instituições apoiadoras em um dado país é diretamente proporcional ao impacto gerado na estabilidade macroeconômica. Logo, quanto maior o engajamento das instituições de ensino, maior é o impacto positivo para a economia do país. Nesta avaliação, os países Países Baixos, Hong Kong, Reino Unido, Suécia, Dinamarca, Canadá, Austrália e Alemanha são os países que possuem ambientes facilitadores mais significativos para o desenvolvimento de profissionais da Indústria 4.0

O ranking geral do Brasil para o desenvolvimento econômico de Competitividade Global 4.0 foi de 72º lugar das 100 economias listadas no Relatório de Competitividade Global em 2018. O país encontra-se em 93º posição para instituições apoiadoras, e em 122º posição para estabilidade macroeconômica, permanecendo atrás de países como Peru e Colômbia (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018).

Os autores Hasan et al. (2020) afirmam que não há estudos suficientes em relação aos desafios enfrentados por instituições de ensino de países em desenvolvimento, como o Brasil.

De modo geral, observa-se que os países que investem em pesquisas na área educacional, tendem a ocupar posições mais elevadas no quadro competitivo global, como por exemplo Cingapura, Países Baixos e Suíça. Portanto, pode-se inferir que investimentos voltados à educação pode ser uma forma eficiente para adquirir competências profissionais necessárias para conduzir atividades exigidas pela quarta revolução industrial.

Em vista do atual cenário brasileiro em relação aos avanços em capacitação profissional, a seguir são expostos os conceitos requisitados para o ensino prático da Indústria 4.0, bem como alguns fatores facilitadores para elaboração de um modelo de ensino estruturado.

### 2.2.2 Ensino Prático para a Indústria 4.0

Bauer et al. (2013) salientam que o desenvolvimento contínuo em treinamentos e habilidades profissionais para Indústria 4.0 tendem transformar radicalmente os requisitos de competências exigidos pelo mercado de trabalho. Para atender a tais necessidades, os autores defendem a criação de um plano de capacitação eficiente e a adequação da cultura organizacional do ambiente produtivo. Além disso, reiteram que se deve priorizar o aprendizado baseado no trabalho e implementar o ensino prático de técnicas digitais.

Em complemento ao posicionamento de Bauer et al. (2013), os autores Kozak et al. (2018) defendem que as instituições de ensino de nível superior devem ser capazes de desenvolverem o conhecimento e as habilidades de forma aplicada em suas disciplinas, incorporando conceitos tecnológicos da Indústria 4.0.

Umachandran et al. (2018) enfatizam que a educação é o caminho primordial para a adaptação dos processos de manufatura à Indústria 4.0 e suas tecnologias. Os autores agruparam as demandas necessárias para a educação superior, associando tecnologias viabilizadoras a métodos de ensino e suas características do ambiente na quarta revolução industrial, conforme esquematizado na Figura 5.

Figura 5 - Demandas da Indústria 4.0 para a Educação de Nível Superior



Fonte: Tradução própria, Umachandran et al. (2018)

Dentre demandas ilustradas na Figura 5, destacam-se os itens: aprendizado virtual, predição por mineração de dados, *flipped learning*, compilação de *Big Data*, e conveniência de dispositivos.

Pode-se compreender, que essas tecnologias inseridas em métodos de ensino, sejam estrategicamente oportunas ao modelo educacional para uma geração de profissionais, que se encontram em um ambiente altamente rotativo como ilustrado. Em outros termos, as competências técnicas são aplicadas em diversas áreas de atuação visando atender não apenas um mercado local, mas também desempenhar inovação em diversos setores produtivos (UMACHANDRAN et al., 2018).

Segundo Souza et al. (2017), as universidades vêm atuando de diversas maneiras para inserir as tendências da Indústria 4.0 em suas grades curriculares. Em destaque encontram-se o ensino de CPS, robótica, virtualização e temas da tecnologia da informação (TI) como por exemplo os listados a seguir:

- *Data science e Big Data Analytics* avançado;
- Realidade Virtual e Mista;
- Simulação avançada e Modelagem de planta virtual;



- Comunicação de dados e redes e sistemas de automação;
- Interfaces *Novel human-machine*.
- Tecnologias de transferência *Digital-to-physical*;
- *Closed-loop integrated product* e sistemas de controle/gerenciamento da qualidade de processos.
- Inventário em tempo real e sistemas de otimização de logística.

As tecnologias da Indústria 4.0 mencionadas anteriormente também são elencadas pelos autores Sackey, Bester e Adams (2016), que destacam a necessidade do uso dessas competências para sistemas de realidade aumentada, a fim de produzir ganhos de produtividade expressivos e otimização de equipamentos de manufatura tradicionais, que ainda utilizam tarefas manuais repetitivas.

Com base nas abordagens dos autores mencionados até o momento, identificou-se que o *Learning Factory* possa ser uma estrutura adequada de ensino prático para os alunos desenvolverem projetos de apoio a inovação, voltados para a Indústria 4.0.

### 2.3 LEARNING FACTORY

A primeira vez que se falou em *Learning Factory* (LF), também denominado como Fábrica de Ensino, foi em 1995 no Estados Unidos da América, quando um grupo de universidades criou o conceito. Atualmente existem diversos modelos conceituais, e que vêm sendo utilizados para o ensino prático de forma extensiva por todo o mundo (BAENA et al., 2017).

Mavrikios, Georgoulis e Chryssolouris (2018) apresentam um modelo conceitual de *Learning Factory* por meio de um canal de transferência de conhecimento de duas vias: sala de aula e indústria, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Conceito de Fábrica de Ensino



Fonte: Mavrikios; Georgoulis; Chryssolouris (2018)

Neste modelo, observa-se que as necessidades do chão de fábrica são a principal entrada de dados para o desenvolvimento de projetos em sala de aula. A partir do fornecimento dessas informações, as equipes envolvidas das instituições de ensino, viabilizam diversos projetos de melhoria à baixo custo, e validam antes de implementá-las na produção real. Os autores defendem que essa prática cria uma sinergia e transformação no relacionamento entre indústria e as universidades (MAVRIKIOS; GEORGOULIAS; CHRYSSOLOURIS, 2018).

Segundo Sackey et al. (2017), o *Learning Factory* tem como objetivo reproduzir de forma realista um cenário industrial e criar um ambiente favorável para que estudantes apliquem seus aprendizados e testem melhorias em projetos.

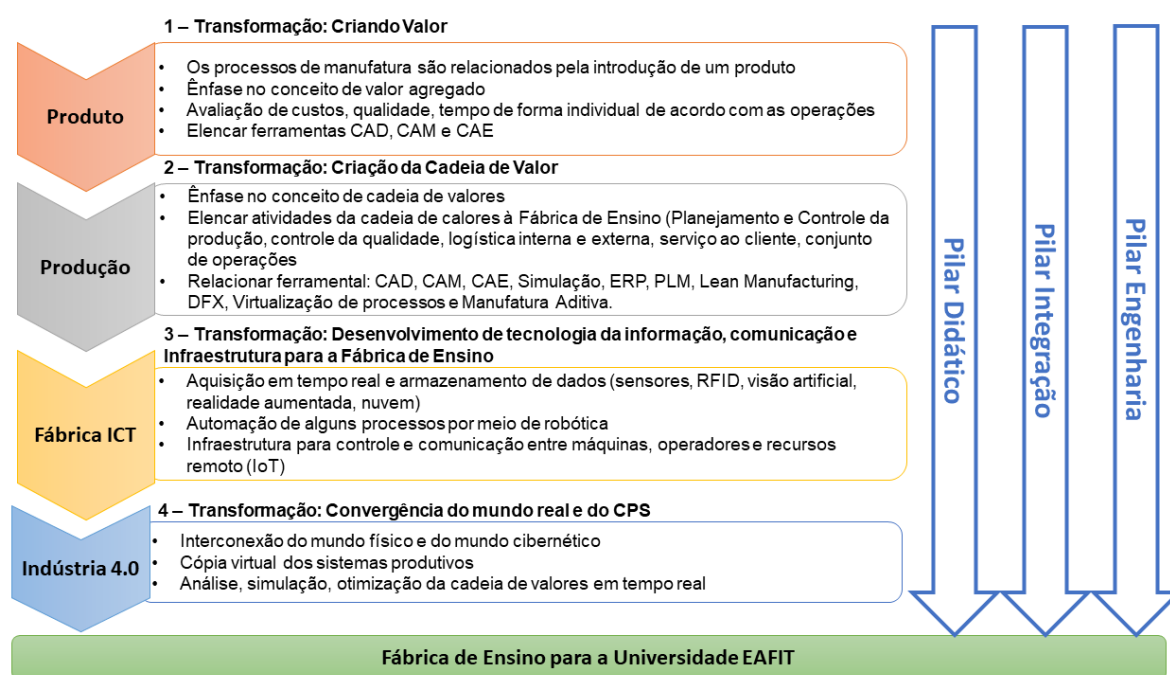
A European Commission (2017) enfatiza a importância das instituições implementarem um modelo educacional com base de ensino teórico e prático:

“Educação superior e executiva, e instituições de treinamento deveriam garantir um bom alinhamento em seus programas educacionais com as necessidades da indústria permitindo que mais estudantes visitem empresas para ganhar um esclarecimento com relação aos desenvolvimentos mais atuais, e também inserir executivos, profissionais de liderança dessas empresas para fornecer aprendizado regularmente nas salas de aula, a fim de aumentar a relevância prática da educação” (EUROPEAN COMMISSION, 2017, p.86).

De acordo com Baena et al. (2017) o desenvolvimento de um *Learning Factory* deve seguir três pilares: Pilar Didático, Pilar de Integração e o Pilar de Engenharia.

O primeiro pilar destina-se em definir o público-alvo, os objetivos educacionais e as metodologias de ensino. O segundo pilar, destaca a presença de diversas áreas de estudo envolvidas e integradas, como produção, logística, administração, computação entre outros. Por fim, o último pilar defende que a fábrica de ensino deve usar as necessidades tecnológicas dos usuários, definidos como *cluster* alvo, bem como seus objetivos e estratégias em engenharia, como direcionadores para os conteúdos tecnológicos (BAENA et al., 2017). O esquema representado na Figura 7 demonstra como os três pilares auxiliam o desenvolvimento da Fábrica de Ensino, e dispõe os elementos que as compõem.

**Figura 7 - Pilares da Fábrica de Ensino e suas transformações**

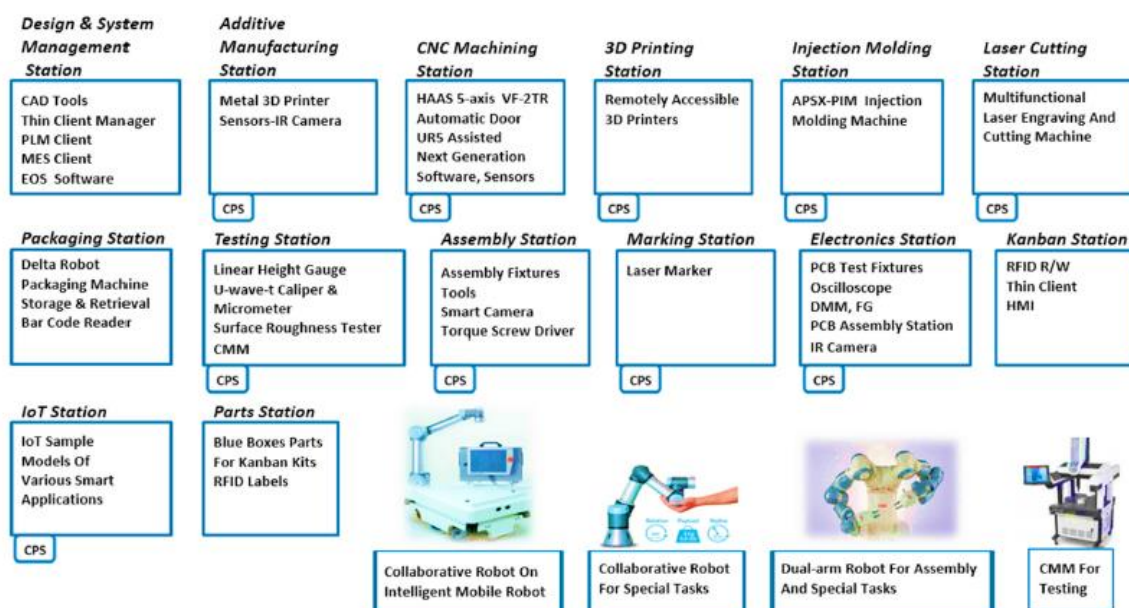


Fonte: Tradução própria, Baena et al. (2017)

O modelo de *Learning Factory* proposto por Baena et al. (2017) na Figura 7, evidência a criação do produto, seguido pela geração de cadeia de valor e desenvolvimento focado nas tecnologias de informação, comunicação e infraestrutura, finalizando com a interconexão entre o mundo real e do CPS. Paralelamente, destaca-se a flexibilidade da utilização desses elementos de acordo com a necessidade do *cluster* do usuário.

O modelo conceitual proposto por Elbestawi et al. (2018), converge em vários aspectos aos modelos já apresentados. Entretanto, vale ressaltar suas considerações em relação ao *layout* organizacional dividido em estações. A Figura 8 ilustra as estações da *Learning Factory* proposta pelos autores.

**Figura 8 - Componentes principais da *Learning Factory* SEPT**



**Fonte: Elbestawi et al. (2018)**

Observa-se na Figura 8 que cada estação é composta por tecnologias necessárias, dando destaque para a presença de diversas Estações CPS com IIoT aplicada para controlar e acessar as atividades de processo e pós-processo em manufatura, montagem e testes mecatrônicos.

Nas atividades que envolvem processos, há impressoras 3D de metal e de plástico, máquinas CNC 5-axis, máquinas de corte à laser e de injeção. Enquanto, nas atividades de pós-processo, há estações de marcadores, de montagem, embaladoras, e estações de testes (ELBESTAWI et al., 2018).

No ponto de vista dos autores Elbestawi et al. (2018), a *Learning Factory* da SEPT é constituída com os principais elementos educacionais para estudantes de graduação, pós-graduação e outros pesquisadores, visto que os treinamentos são voltados à elucidação da indústria.

O formato estruturado de aprendizado aplicado na prática pelos autores Elbestawi et al. (2018) se mostra interessante para fins didáticos, visto que demonstra o papel do CPS nas fases de manufatura. A participação dos alunos, da indústria e de pesquisadores auxilia no entendimento dos sistemas de integração vertical e horizontal tanto a nível produtivo quanto à níveis de serviços (ELBESTAWI et al., 2018).

“As capacidades nas estações CPS, maquinário, sensores e robôs permitem comunicações verticais e horizontais na SEPT *Learning Factory*, um dos principais requisitos para a implementação da Indústria 4.0.” (ELBESTAWI et al., 2018, pg. 252).

Por fim, o último modelo de destaque é o de Abele et al. (2017) que elucida abordagens que ao serem aplicadas em métodos de aprendizado contribuem no desenvolvimento de um modelo de *Learning Factory*. Na perspectiva dos autores, ao proporcionar situações de aprendizado, conjuntamente há ligação entre conhecimento, habilidades e competências. A abordagem proposta pelos autores leva em consideração as formas tradicionais de ensino, e as formas inovadoras mais características da Indústria 4.0. conforme elencado no Quadro 6.

**Quadro 6 - Formas de desenvolvimento de competências baseados no trabalho**

	<b>APRENDIZADO WORK – BASED</b>	<b>APRENDIZADO WORK-CONNECTED</b>	<b>APRENDIZADO WORK-BOUND</b>
<b>Abordagens Estabelecidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Workshops de treinamento</li> <li>● Centro de treinamento</li> <li>● Fírmãs práticas</li> <li>● Fábrica de Ensino</li> <li>● Programas de Autoaprendizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ciclo de qualidade</li> <li>● Ciclo do workshop</li> <li>● Estação de Aprendizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estação de Treinamento</li> <li>● Metodologia de texto guia</li> <li>● Instrução</li> <li>● Aprendizado informal executado em ambiente real de trabalho</li> </ul>
<b>Abordagens Inovadoras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fábricas de Ensino Remoto com uso de equipamento ICT e aprendizado mesclado</li> <li>● Aprendizado em Fábricas Virtuais com adaptação dinâmica para a necessidade dos grupos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aprendizado orientado ao processo, virtual para assistência metodológica baseada em demanda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Desenvolvimento de habilidades AD-hoc durante o processo de trabalho</li> <li>● Ferramentas de aprendizado</li> </ul>

**Fonte: Adaptação e tradução baseada em Abele et al. (2017)**

A abordagem proposta por Abele et al. (2017) estruturado no Quadro 6, de modo geral é relevante para o escopo do presente trabalho, pelo fato do aproveitamento e adaptação mais flexível das metodologias e tecnologias já existentes na instituição de ensino em questão, e na proposta de melhoria dos laboratórios de ensino voltados para a Indústria 4.0 da UTFPR-PG a uma modelo *Learning Factory 4.0*

## 2.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Baseado na fundamentação teórica exposta no decorrer deste capítulo, é possível verificar que a contextualização sobre o histórico, as características, os componentes de sustentação da Indústria 4.0 e os modelos de *Learning Factory* sob os requisitos da quarta revolução industrial, isto é, os elementos metodológicos e tecnológicos, são essenciais para fazer parte da modelagem do ensino prático, auxiliaram a responder à pergunta de partida do presente trabalho, bem como corroboraram no cumprimento do objetivo geral.

A partir da revisão da literatura foi possível identificar as características, os componentes direcionadores e os impactos e benefícios da Indústria 4.0 no setor educacional e econômico, como descrito nas seções 2.1 e 2.2. Após a compreensão das características do contexto da Indústria 4.0, ainda baseado na revisão da literatura, compilou-se os modelos de *Learning Factory* utilizados em instituições de ensino, destacando os principais elementos que devem compor esse modelo, que são as metodologias e as tecnologias, de forma a compreender as abordagens proposta pelos autores, conforme descrito na seção 2.3.

Dessa forma, verificou-se no decorrer deste capítulo, a consolidação dos objetivos específicos: (a) Identificar as características pertinentes à Indústria 4.0 no cenário mundial e brasileiro, (b) Estabelecer os componentes de sustentação da Indústria 4.0 (c) Identificar os impactos da Indústria 4.0 no setor educacional e a importância de seu desenvolvimento para a economia, instituições de ensino e a sociedade como um todo.

No capítulo seguinte, Capítulo 3, é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho para consolidação dos outros objetivos específicos.

### 3 METODOLOGIA

A fim de demonstrar o embasamento científico da pesquisa realizada, este capítulo apresenta os passos necessários para cumprir os objetivos propostos no presente trabalho, os quais possibilitam a replicação deste estudo. A metodologia está dividida em classificação da pesquisa e nas fases da metodologia proposta para o desenvolvimento do trabalho.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De modo geral, esta pesquisa é classificada como descritiva com aplicação prática prevista, uma vez que, o objetivo geral do trabalho é identificar e descrever os elementos necessários para o desenvolvimento e implementação de um *Learning Factory* em um laboratório de ensino de Indústria 4.0, a partir do conhecimento já existente do tema na literatura, direcionando-o a problemática da pesquisa.

A classificação da pesquisa foi realizada conforme os critérios propostos por Gil (2002), considerando a natureza, os objetivos, a abordagem do problema, o método de pesquisa e os procedimentos de coleta de dados, e esta apresentada no Quadro 7.

**Quadro 7 - Características da classificação da pesquisa**

CRITÉRIO	CLASSIFICAÇÃO	JUSTIFICATIVA
<b>Natureza</b>	Aplicada	Este trabalho visa delinear e implementar os conceitos e elementos teóricos identificados na literatura pesquisada, com aplicação prática em laboratórios de ensino voltados para a Indústria 4.0 na UTFPR - Ponta Grossa.
<b>Objetivos</b>	Descritivo	O objetivo é identificar e descrever o conhecimento já existente do tema, correlacionando os fatos com a pergunta problema do presente trabalho.
<b>Abordagem do Problema</b>	Qualitativa	A pesquisa é baseada em dados científicos que apresentam as perspectivas dos autores estudados frente ao tema “Ensino para a Indústria 4.0”, tendo enfoque no aprofundamento e interpretação subjetiva do conhecimento do assunto abordado, sem se preocupar com o número dos resultados.

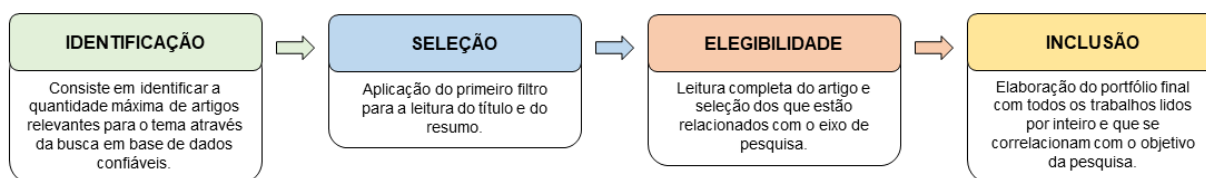
<b>Método de Pesquisa</b>	Bibliográfica	A pesquisa foi feita a partir do embasamento teórico, por meio de uma busca sistemática de materiais científicos já publicados constituído por artigos de periódicos e web sites.
<b>Procedimento de Coleta de Dados</b>	PRISMA	Possibilidade de análise de todo o portfólio de artigos.

Fonte: Autoria própria.

Nessa perspectiva, na presente pesquisa bibliográfica, a coleta de dados foi realizada por meio de uma revisão sistemática da literatura, utilizando-se o método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) para identificar, selecionar e avaliar criticamente os trabalhos relevantes, e analisar o conteúdo desses estudos para consolidar o objetivo proposto alinhado à natureza da pesquisa (LIBERATI et al., 2009).

A execução da revisão sistemática pelo método PRISMA consiste em quatro fases apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Etapas do método PRISMA



Fonte: Adaptação própria, Liberati et al. (2009)

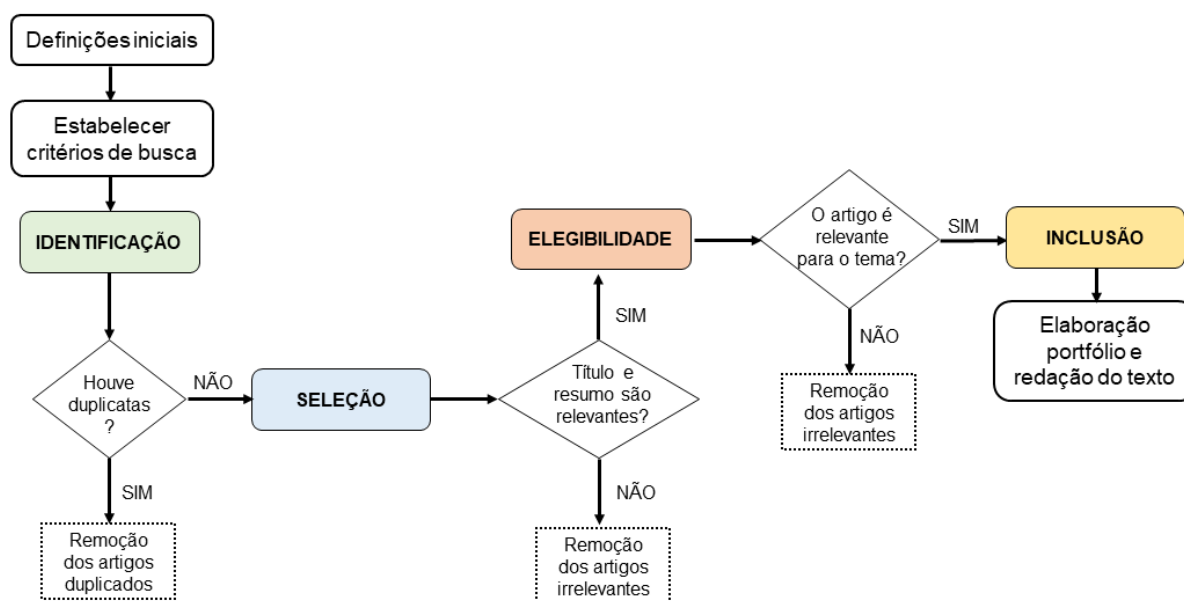
De modo geral, o método consiste em realizar uma investigação aprofundada sobre o tema do trabalho por meio da combinação de palavras-chave relacionadas ao tema de pesquisa. A busca pelo material a ser investigado, precisa ser realizada em bases de dados confiáveis e com periódicos renomados, seguido do uso de filtros pré-estabelecidos para a obtenção de um portfólio final de artigos adequado com a proposta da pesquisa (LIBERATI et al., 2009).

### 3.2 FASES DA METODOLOGIA

A realização da revisão sistemática de literatura utilizando o método PRISMA (LIBERATI et al., 2009), seguiu as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 10.



**Figura 10 - Fluxograma das etapas do método PRISMA**



**Fonte: Adaptação própria, Liberati et al. (2009)**

Como pode ser observado no fluxograma da Figura 10, cada etapa da pesquisa consistiu em várias atividades. As quatro etapas destacadas são condizentes com as etapas principais propostas por Liberati et al. (2009). A seguir são explanados detalhadamente cada etapa do fluxograma.

### 3.2.1 Definições iniciais

Primeiramente foi definido a questão problema da pesquisa a ser investigado, delimitando-se ao tema abordado no título da pesquisa: *Learning Factory 4.0: Estudo de Caso do Laboratório de Ensino 4.0 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa*.

Em seguida, definiu-se os fatores base para estruturar a pesquisa e contextualizar o tema escolhido. Os eixos de pesquisa com as suas respectivas palavras-chave e variações, apresentados no Quadro 8, foram baseados nos conceitos: Indústria 4.0, *Learning Factory* e Educação. As palavras-chave foram agrupadas em subgrupos para tornar a busca dos trabalhos publicados mais assertiva.

**Quadro 8 - Eixos de Pesquisa e respectivas palavras-chave**

EIXO DE PESQUISA	SUBGRUPO	PALAVRA-CHAVE
Indústria 4.0	1	Industr* 4.0
		The Fourth Industrial Revolution
Educação	2	Learning Factory
		Test Bed*
		Laborator* 4.0
		Training System
	3	Education
		Learning Methods
		Employable skills

Fonte: Autoria própria

As bases de dados utilizadas foram a *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, todas de origem internacionais e relevantes para a área de exatas no geral.

### 3.2.2 Definição dos critérios de busca

Os critérios de busca foram delimitados pelo tipo de documento de pesquisa, o idioma e ano de publicação. Dentro desses critérios selecionou-se apenas artigos e revisões em inglês publicados a partir do ano de 2013 até abril de 2021. O recorte temporal estabelecido foi baseado no fator histórico, isto é, o termo “Indústria 4.0” teve origem em 2011, onde os primeiros relatos e publicações oficiais sobre o tema foram iniciados a partir de 2013.

Os termos de busca foram identificados, inicialmente, nos títulos, nas palavras-chave e nos resumos. A associação entre os subgrupos da pesquisa e as palavras-chave foram realizadas por meio dos Índices Booleanos (*AND* e *OR*).

Utilizou-se o Índice Booleano *AND* para correlacionar os diferentes eixos de pesquisa: Indústria 4.0, *Learning Factory* e Educação. A função desse operador foi para realizar a busca na base de dados abrangendo todos os termos separados, de forma a restringir a pesquisa.

O Índice Booleano *OR* foi utilizado para combinar as palavras-chave de um mesmo subgrupo de pesquisa, e por sua vez encontrar os registros que contenham pelo menos um dos termos separados pelo operador.

### 3.2.3 Identificação

Após as definições iniciais da pesquisa (critérios, palavras-chave e base de dados), realizou-se a busca dos artigos propriamente dita. O Quadro 9 apresenta os resultados obtidos da busca a partir do cruzamento das palavras-chave em cada base de dados.

**Quadro 9 - Sintaxe de entrada nas bases de dados e quantidade de trabalhos científicos retornados**

CRUZAMENTO DE PALAVRA-CHAVE	BASE DE DADOS		
	SCOPUS	WEB OF SCIENCE	SCIENCE DIRECT
("Learning Factor*" OR "Training System" OR "Test Bed*" OR "Laborator* 4.0") AND ("Industr* 4.0" OR "The Fourth Industrial Revolution") AND ("Education*" OR "Learning Methods" OR "Employable skills") > 2013	76	156	377

Fonte: Autoria própria

Obteve-se um total de 609 documentos retornados pela busca nas respectivas bases de dados, conforme o Quadro 9. Todos os arquivos foram exportados em formato BibTex para o software Mendeley Desktop (2020), versão 1.19.8.

Os documentos foram organizados pela referência autor/ano, os identificados como duplicados foram removidos, obtendo um total de 590 artigos, e os artigos que não possuíam identificação foram desconsiderados, totalizando 566 artigos. Após essa triagem de identificação, seguiu para a seleção dos trabalhos a partir da leitura do título e do resumo.

### 3.2.4 Seleção

Nesta etapa aplicou-se o primeiro filtro, realizado por meio da leitura do título, onde identificou-se 390 artigos fora do escopo. Procedeu-se com a leitura do resumo dos 176 artigos, no qual selecionou-se 89 artigos para serem realizados o *download* para a sua leitura na íntegra. Detectou-se 77 artigos científicos disponíveis para *download*, e 12 artigos científicos não foi possível realizar o *download* em nenhuma base de dados.

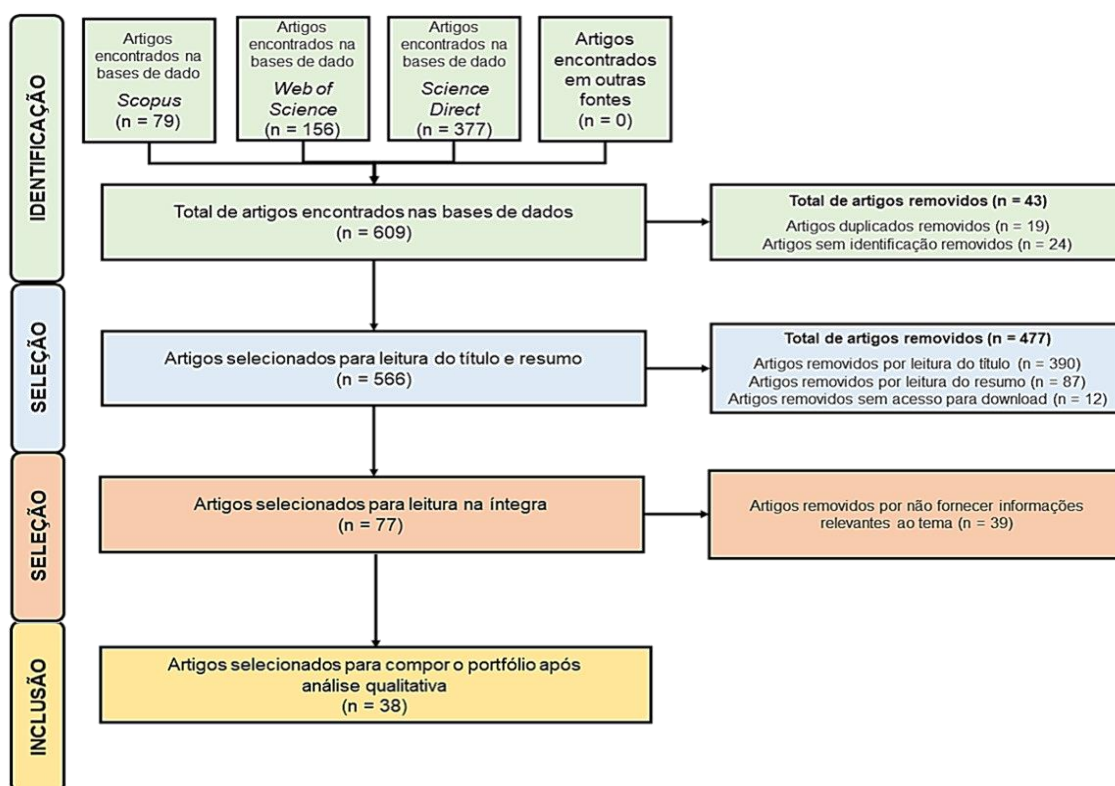
### 3.2.5 Elegibilidade, inclusão dos artigos selecionados, organização e escrita

A leitura completa dos 77 artigos foi realizada nesta etapa, selecionando 38 artigos relevantes para compor o portfólio final deste trabalho e concluir os objetivos definidos no mesmo. Os artigos foram exportados em formato RIS para o software VOS Viewer versão 1.6.16 (2020) para a construção e visualização de redes bibliométricas e termos importantes entre os artigos do portfólio.

O software VOS Viewer foi escolhido devido à sua capacidade em auxiliar a organização dos artigos por “*cluster*”, ou seja, conectar redes bibliométricas entre diferentes textos por meio de imagens intuitivas, contribuindo na identificação de tendências e pontos pertinentes ao tema em questão (VOS VIEWER, 2020).

Na Figura 11 encontra-se o diagrama de fluxo da metodologia PRISMA e as quantidades de artigos removidos em cada etapa para a criação da base de documentos analisados no presente estudo.

**Figura 11 - Diagrama de fluxo de informação do PRISMA**



Fonte: Autoria própria

O portfólio de artigos foi pautado em 38 artigos científicos que deram embasamento para a consolidação dos objetivos específicos e geral. A análise desse portfólio é explanada de maneira quanti-qualitativa no Capítulo 4 por meio de uma análise bibliométrica e análise de conteúdo.

Os dados elaborados por meio dos estudos bibliométricos visam mensurar a contribuição do conhecimento científico derivado das publicações selecionadas e a evolução dos estudos em relação ao tema desse trabalho. No contexto dessa análise foram avaliados: “ano de publicação”, “palavras-chaves mais frequentes”, “países de publicação” e “*journals*”.

Na análise de conteúdo do material selecionado, buscou-se durante a leitura construir um conhecimento analisando as abordagens feita pelos autores e suas contribuições. Através dessa análise, foi compilado quais os modelos, as metodologias e tecnologias devem fazer parte da proposta de melhoria de um laboratório de ensino 4.0 para o modelo *Learning Factory 4.0*.

Foi realizado um estudo de caso na UTFPR-PG a fim de apresentar o modelo de ensino prático empregado pela instituição. Em termos de metodologia de ensino realizou-se uma entrevista com os professores responsáveis pelas disciplinas Industry 4.0 e EDP, e o levantamento de dados das publicações por Yoshino et al. (2020), blog do MEI-U (2021) e Prograd (2020). Em relação as tecnologias presentes nos laboratórios de ensino voltados à Indústria 4.0, realizou-se uma visita nos laboratórios *Living Lab* e *Industry 4.0 Lab* onde foi feito o levantamento de todas as tecnologias presentes e os registros fotográficos.

Através desse compilado correlacionou-se as metodologias e tecnologias dos modelos identificados na literatura com os mesmos presentes na UTFPR-PG, dando embasamento a proposta de melhoria do laboratório de ensino 4.0 em um modelo *Learning Factory 4.0*.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da análise bibliométrica, a análise de conteúdo com os modelos de Learning Factory 4.0, e o estudo de caso com o modelo de ensino empregado pela UTFPR-PG focado na Indústria 4.0, o comparativo dos elementos metodológicos e tecnológicos evidenciados pela literatura com os presentes nos laboratórios voltados para a Indústria 4.0 da instituição de ensino, e a proposta de melhoria dos laboratórios de ensino a um *Learning Factory 4.0* finalizando com as considerações sobre o capítulo.

### 4.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Após a aplicação da metodologia descrita no Capítulo 3, selecionou-se ao todo 38 artigos que deram respaldo à correlação entre os pilares da Indústria 4.0 com o *Learning Factory* e Educação para a Indústria 4.0. O portfólio final de artigos estão apresentados no Quadro 10 por ordem alfabética do nome dos autores.

**Quadro 10 - Portfólio final de artigos**

TÍTULO	AUTOR	ANO
Learning factories for future oriented research and education in manufacturing.	Abele et al.	2017
Advantages of Learning Factories for Production Planning based on shop floor simulation: A step towards smart factories in Industry 4.0	Andrés, Álvaro e Julián	2019
Learning Factory: The Path to Industry 4.0	Baena et al.	2017
Using the SEPT Learning Factory for the Implementation of Industry 4.0: case of SMEs	Centea et al.	2020
SEPT Approaches for Education and Training using a Learning Factory	Centea, Singh e Elbestawi	2019
SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research	Elbestawi et al.	2018
An approach of Training Virtual Environmental for Teaching Electro-Pneumatic Systems	Garcia et al.	2019
Presenting the UCN Industrial Playground for teaching and researching Industry 4.0	Grøn, Lindgren e Nielsen	2020
SMEs can touch Industry 4.0 in the Smart Learning Factory	Grube, Malik e Bilberg	2019
Advanced Automation for SMEs in the I4.0 Revolution: Engineering Education and Employees Training in the Smart Mini Factory Laboratory	Gualtieri et al.	2019
Learning method design for engineering students to be prepared for Industry 4.0: a Kaizen approach	Hasan, Mallik e Tsou	2020
Competencies for Industry 4.0	Hernandez-de-Menendez et al.	2020

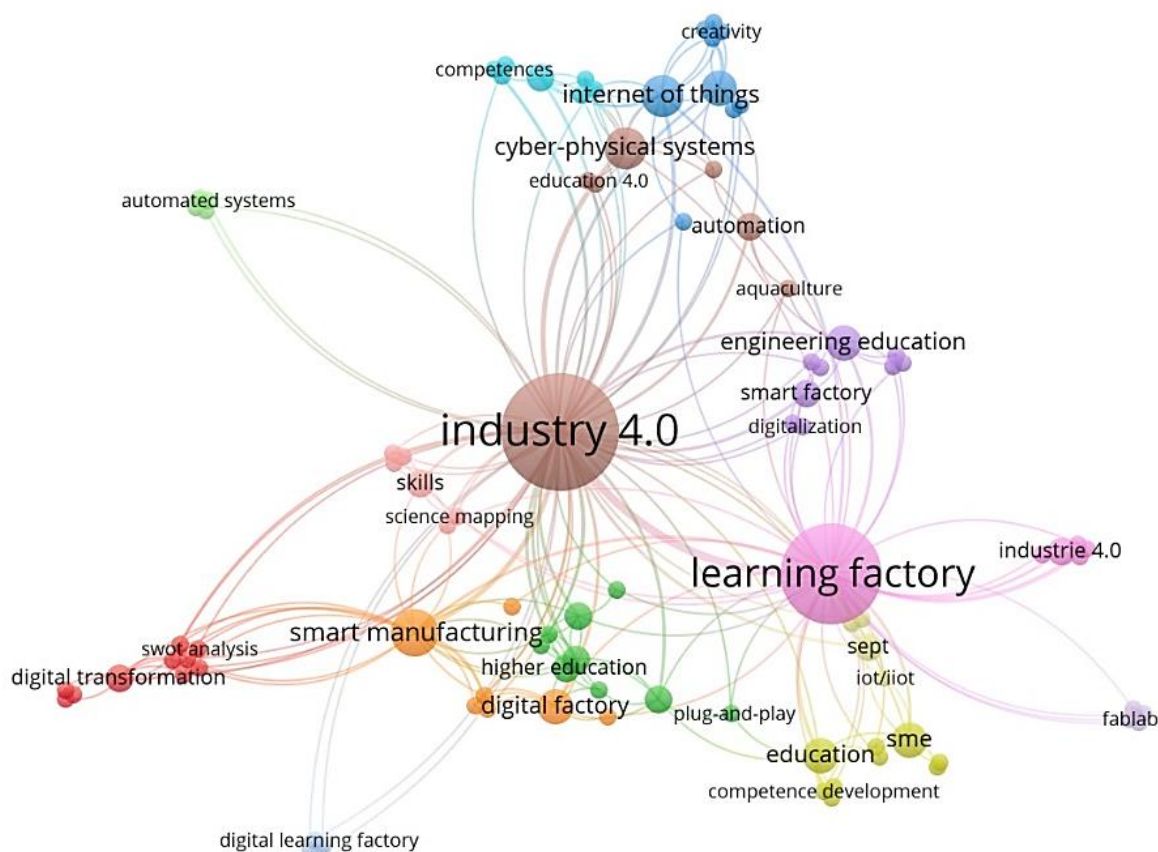
Use of laboratory scenarios as a strategy to develop smart factories for Industry 4.0	Hincapié et al.	2020
Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0	Kipper et al.	2021
A Machine Vision-based Cyber-Physical Production System for Energy Efficiency and Enhanced Teaching-Learning Using a Learning Factory	Kumar et al.	2021
Towards a Modular, Decentralized and Digital Industry 4.0 Learning Factory	Lang et al.	2018
Starting up a Learning Factory focused on Industry 4.0	Leal, Fleury e Zancul	2020
Designing a curriculum for the Internet-of-Things-Laboratory to foster creativity and a maker mindset within varying target groups	Lensing e Friedhoff	2018
Literature review on Cyber Physical Systems Design	Lozano e Vijayan	2020
From Digital Shop floor to Real-Time Reporting: an IIoT Based Educational Use Case	Mayer, Tantscher e Bischof	2020
A Cloud-Based Research and Learning Factory for Industrial Production	Merz, Hoch e Drexel	2020
Adapting Universities for Sustainability Education in Industry 4.0: Channel of Challenges and Opportunities	Mian et al.	2020
Cyber-Physical Systems and Education 4.0 – The Teaching Factory 4.0 Concept	Mourtzis et al.	2018
Design and development of a flexible manufacturing cell in the concept of learning factory paradigm for the education of Generation 4.0 engineers	Mourtzis, Angelopoulos e Dimitrakopoulos	2020
An Implementation Approach for an Academic Learning Factory for the Metal Forming Industry with Special Focus on Digital Twins and Finite Element Analysis	Ralph, Schwarz e Stockinger	2020
Digital Transformation of Engineering Education	Richert et al.	2017
A FabLab as integrative part of a Learning Factory	Ropin, Pflieger-Landthaler e Irsa	2020
Integrating the Concept of Industry 4.0 by Teaching Methodology in Industrial Engineering Curriculum	Salah et al.	2020
Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training	Schallock et al.	2018
Broadening participation in learning factories through Industry 4.0	Spillane, Menold e Parkinson	2020
Development of “Industry 4.0!” – Are Skilled Workers and Semi-Engineers the Losers?	Spöttl	2018
The 4th industrial revolution – its impact on vocational skills	Spöttl e Windelband	2020
Conceptual development of learning factory for industrial engineering education in Indonesia context as an enabler of students’ competencies in industry 4.0 era	Tan et al.	2020
Online engineering education for manufacturing technology: Is a remote experiment a suitable tool to teach competences for “Working 4.0”?	Terkowsky, Frye e May	2019
Added value of a virtual approach to simulation-based learning in a manufacturing learning factory	Tvenge et al.	2020
Integration of a Case Study into Learning Factory for Future Research	Vijayan, Mork e Giske	2019
Educational Test Bed 4.0: a teaching tool for Industry 4.0	Yoshino et al.	2020
A reference system of smart manufacturing talent education (SMTE) in China	Zhang et al.	2018

**Fonte: Autoria própria**

A análise bibliométrica iniciou-se pela verificação das palavras-chaves mais citadas, considerando o número mínimo de 1 ocorrência e pela combinação das mesmas atribuídas pelos autores.

Por meio do software VOS Viewer, realizou-se a indexação automática das publicações científicas quantificando a frequência dos termos empregados. Desta forma, pode-se apontar quais tópicos relacionados ao tema estão sendo pesquisados, dentre os quais, os mais relevantes, bem como suas conexões internas, conforme ilustrado na Figura 12.

**Figura 12 - Mapeamento dos clusters de co-ocorrência de palavras-chave**



**Fonte: VosWier, 2021**

A identificação da rede conexa permitiu detectar 29 termos distribuídos em 14 clusters distintos por cores diversas, do total de 115 palavras-chave mineradas, e seus respectivos links com os demais grupos. Além disso, foi possível segregar pequenos conjuntos de palavras com menor frequência de outros conjuntos de palavras maiores. Desta rede de palavras, os termos que aparecem em destaque, isto é, em um tamanho



maior, correspondem as palavras chaves que tiverem maior reincidência pelos autores e com maior número de artigos indexados, conforme Quadro 11.

**Quadro 11 - Palavras-chave com maior número de artigos indexados**

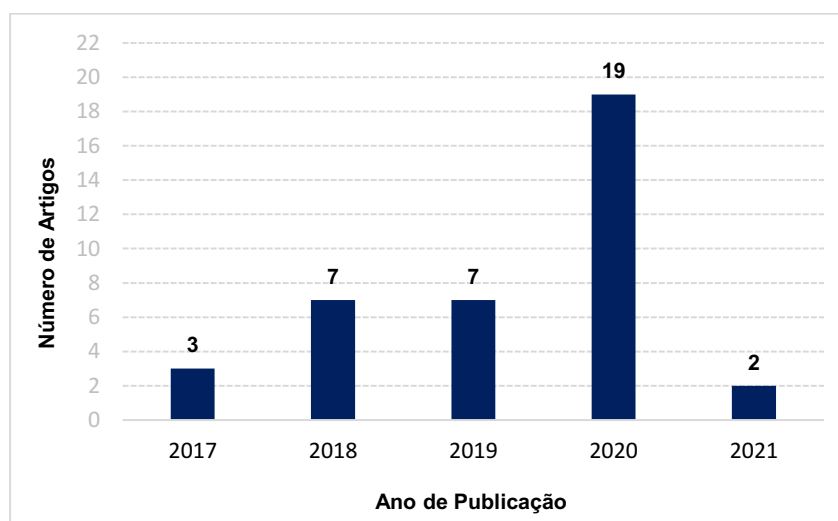
PALAVRA-CHAVE	Nº ARTIGOS
Industry 4.0	22
Learning Factor*	20
Smart Manufacturing	5
Cyber-Physical Systems	4
Internet of Things	4
Digital Factory	3
Education	3
Engineering Education	3

**Fonte: Autoria própria**

Cabe ressaltar que os termos “*industry 4.0*” e “*Learning Factory*”, centro dos clusters marrom e rosa, respectivamente, são os termos mais evidentes da rede, e que compõem diretamente a sintaxe de entrada utilizada na busca dos artigos nas bases de dados, conforme demonstrado anteriormente no Capítulo 3.

Em seguida, analisou-se a distribuição de artigos por ano de publicação no decorrer do período abordado (2013 – 2021) conforme a Figura 13.

**Figura 13 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica por ano**



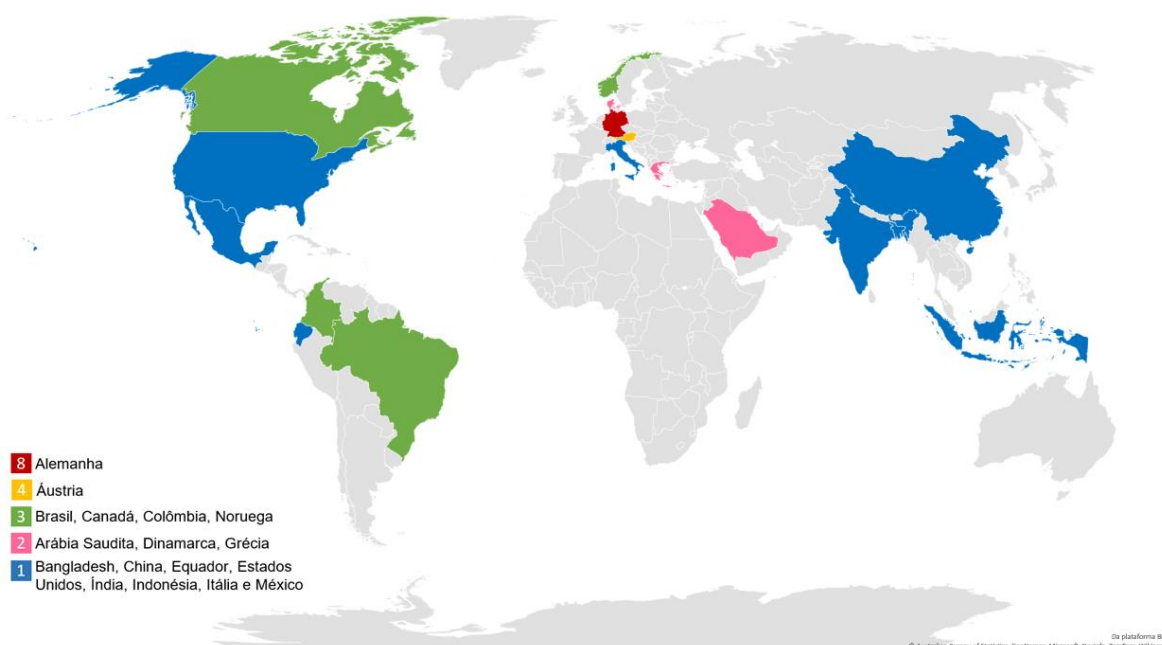
**Fonte: Autoria própria**

Na Figura 13 é possível visualizar que há uma tendência de crescimento de publicações voltadas ao tema Educação para a Indústria 4.0 ao longo dos anos 2017 e 2020, seguido de uma ligeira queda em 2021.

Em virtude do ano de 2021 ainda não estar consolidado e devido ao atual cenário da pandemia de COVID-19, não é possível afirmar se haverá crescimento ou a manutenção da queda de publicações sobre a temática explorada neste trabalho.

Posteriormente, verificou-se a distribuição de publicações por países dentre os artigos selecionados. Na Figura 14 é apresentado um mapa, em que é evidenciada uma escala de cores relacionando 1 a 8 publicações ao longo do mapa-múndi.

**Figura 14 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica por país**



**Fonte: Autoria própria**

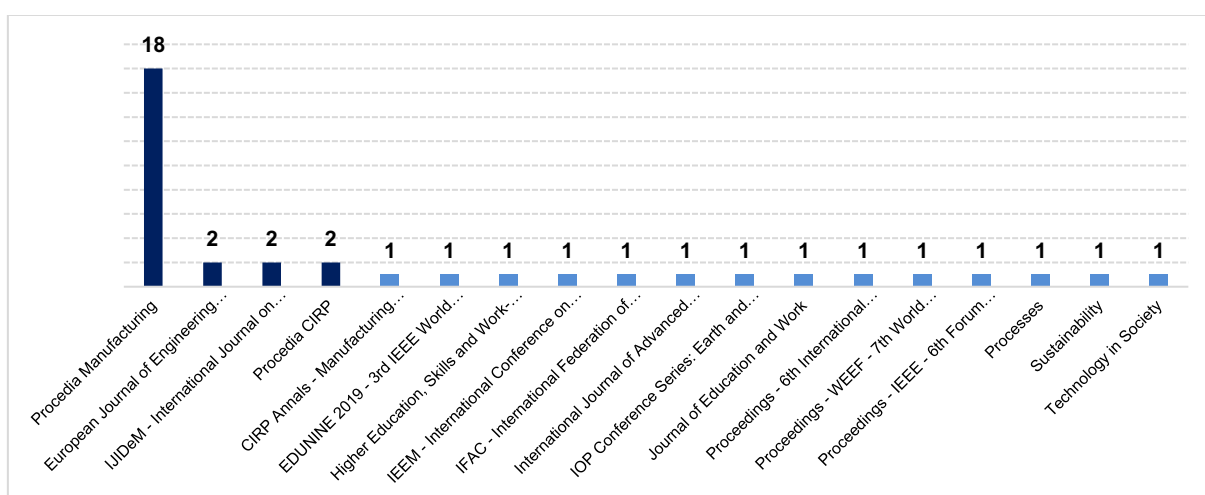
Os dados apontam 17 países, dentre os quais a produção científica predominou-se na Alemanha, que detém 8 publicações, seguida da Áustria, com 4 publicações. Os demais países ficaram abaixo da produtividade apresentada nos dois primeiros, sendo que o Brasil, Canadá, Colômbia e Noruega apresentaram 3 publicações, Arábia Saudita, Dinamarca e Grécia registraram 2 publicações cada, e por fim, Bangladesh, China, Equador, Estados Unidos, Índia, Indonésia, Itália e México registrou-se apenas 1 publicação cada.

Em virtude de ambos os países em destaque (Alemanha e Áustria), serem pioneiros e precursores da Indústria 4.0, pode-se inferir que esses países estão mais

engajados, em relação aos demais, em estudos voltados para a área de *Learning Factory* para Educação 4.0. Entretanto, todos os países podem ser ótimos investidores e apoiadores no desenvolvimento de tecnologias da Indústria 4.0 no setor da educação.

Quanto a divulgação do conhecimento, a última análise realizada, foi referente aos meios de publicação dos artigos decrescente apresentada na Figura 15 em ordem decrescente.

**Figura 15 - Publicações de trabalhos da revisão bibliográfica por *Journals***



**Fonte: Autoria própria**

Observa-se no total 18 *journals* como veículos difusores dos termos pesquisados nos 38 artigos selecionados. Destacam-se os 4 primeiros periódicos que, conjuntamente, publicaram 24 artigos, o que compreende 63,2% do portfólio selecionado.

Os *journals* em destaque: Procedia Manufacturing, European Journal of Engineering Education, IJIDeM - International Journal on Interactive Design and Manufacturing e Procedia CIRP podem ser um referencial para trabalhos futuros relacionados ao tema principal deste artigo.

A análise bibliométrica foi ferramenta auxiliar na escolha dos estudos para definir um portfólio adequado ao escopo deste estudo, e aos eixos de pesquisa para melhor responder aos objetivos gerais e específicos.

## 4.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Através da revisão de literatura do portfólio final de artigos, foi possível compilar 20 modelos de *Learning Factory 4.0*, englobando os principais elementos metodológicos e tecnológicos no contexto de ensino aplicado à Indústria 4.0. O Quadro 12 apresenta uma breve descrição do conceito, as principais metodologias e tecnologias que compõem cada modelo.

**Quadro 12 - Modelos de *Learning Factory 4.0***

MODELO LF4.0	DESCRIÇÃO	FONTE
<b>Industry 4.0 Pilot Factory (I40PF)</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado na digitalização de processos e Internet das Coisas (IoT). Focado na transferência de tecnologia para auxiliar as empresas a implementarem as ideias da I4.0. Reforça a demanda em capacitação de conexões interdisciplinares, adaptando e desenhando os conceitos de CPS de produção;</p> <p><b>Metodologia:</b> <i>Work-based learning, work-connected learning, work-bound learning</i></p> <p><b>Tecnologias:</b> <i>Network laboratories, CAD, ergonomics, biometria</i> e ambiente para testes com inclusão de equipamentos de manufatura. Foco voltado a produtos, processos e insumos.</p>	ABELE et al., 2017
<b>EAFIT University SFS Learning Factory</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo que visa a transferência de informação por meio de inovação orientada pela aplicação. Tem como destaque o Virtual Design (VD), Simulação de chão de fábrica (SFS), heurística e meta-heurística para previsão de situações críticas. Focado na simulação SFS para inovação em processos de cadeia logística.</p> <p><b>Metodologia:</b> <i>SFS (Shop Floor Simulation)</i>, proposta de aprendizado com base em simulações em chão de fábrica. Abordagem <i>Simulation-based learning</i>.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Algoritmos de otimização de layout de fábrica (CRAFT, Black Hole), com foco em simulação por meio de Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR), Flexsim e Tecnomatix Plant Simulationv.</p>	ANDRES; ALVARO; JULIAN, 2019
<b>EAFIT University Learning Factory</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado em três pilares de transformação sendo eles: Pilar didático para definir público-alvo. Pilar de Integração para integrar processos de manufatura com escolas de engenharia, e Pilar de Engenharia que cobre os grupos de tecnologias para definir conteúdos técnicos a compor a LF. Seu foco é na otimização através da simulação para cadeia de valor em tempo real. Propõe quatro transformações: Produto, Manufatura, ICT Factory e Indústria 4.0.</p> <p><b>Metodologia:</b> Propõe estratégia de ensino com <i>Practice-based learning, action oriented, active learning e experimental learning</i>, nas categorias para equilibrar as</p>	BAENA et al., 2017

	<p>práticas pedagógicas entre <i>social skills</i>, conhecimento científico e aprendizado experimental.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Viabilidade Financeira, CAD, CAM e CAE, Simulação de processos, ERPs, PLM, Lean Manufacturing, virtualização de processos com manufatura aditiva. Destaque para ICT Factory com RFID, visão virtual, AR, Cloud e IoT.</p>	
<b>SEPT Learning Factory</b>	<p><b>Conceito:</b> O modelo atua como um hub para integrar os quatro laboratórios especializados (automação, eficiência energética, automotivo e <i>Smart Systems</i>) da instituição por meio do uso de CPS Learning Centre. A integração feita por meio do uso de CPS viabiliza a digitalização da linha de produção e aplicações de IoT e IIoT. Seu foco está na integração de ICT ao laboratório de automação.</p> <p><b>Metodologia:</b> <i>Capstone projects</i> baseado em estágios de pesquisa desenvolvidos nas instalações da LF da universidade.</p> <p><b>Tecnologias:</b> CPS, IoT, IIoT, PLM, CAD/CAM/CAE, máquinas CNC, impressoras 3D e gama de computadores para rodar simulação para cada laboratório.</p>	CENEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019
<b>CPS Learning Centre</b>	<p><b>Conceito:</b> o modelo utiliza o CPS com divisão em estações que compõem etapas básicas de processo de manufatura com aplicação de manufatura I4.0. As aulas designadas por “mãos na massa” são focadas no desenvolvimento de design, prototipagem, manufatura, teste de processos com IoT e IIoT. Os laboratórios da instituição de Design, Simulação, Análise, Prototipagem e de Especialização em CPS são todos integrados.</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>Project-Based Learning</i>, <i>Problem-based learning</i>, e utilização de aprendizado experimental e colaborativo, mencionado para estudo futuros do autor.</p> <p><b>Tecnologias:</b> sensores, RFID, CLP, IoT, Máquina CNC, Robôs, impressoras 3D, Smart Câmera, Gravadora a Laser, CAD, PLM.</p>	ELBESTAWI et al., 2018
<b>Innovation Lab SDU</b>	<p><b>Conceito:</b> o modelo abrange quatro dimensões do PLM, criatividade, prototipagem de operações e business para colaboração em projetos de desenvolvimento e melhorias para sistemas de produção.</p> <p><b>Metodologias:</b> autor não aborda metodologias de ensino.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Módulo de Gêmeo Digital (Tecnomatix Plat Simulation - Siemens), CAD, CAE, impressora 3D (LEGO), Máquina de corte a Laser, robôs colaborativos e CLP.</p>	GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019
<b>Smart-Mini Factory</b>	<p><b>Conceito:</b> o modelo é pautado na parceria com pequenas e médias empresas para transferência de tecnologias, à medida que a estrutura do laboratório de automação tem-se adequado para uma <i>Learning Factory</i> 4.0. Os resultados das pesquisas são transferidos em forma de workshops, seminários e projetos industriais.</p>	GUALTIERI et al., 2019

	<p><b>Metodologias:</b> <i>University/Industry partnership</i>, com a realização de projetos em parceiros externos.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Robôs Autônomos, Software de simulação para Gêmeo digital, VR para imersão de estudantes, realidade aumentada e CPPS para realização de Sistema de Internet Industrial (IoT e Integração horizontal). Integração Vertical está planejada com aquisição de ERP-MES.</p>	
<p><b>Machine Vision-based Learning Factory</b></p>	<p><b>Conceito:</b> o modelo se baseia na captura, armazenamento e análise de imagem para detecção de defeitos como fissuras e trincas.</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>Multidisciplinary learning</i> e atividades <i>practical-oriented</i>.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Raspberry pi Camera, CLP, Software TensorFlow Lite, Banco de dados SQL Databases integrados em um modelo CPPS para interface homem-máquina.</p>	<p>KUMAR et al., 2021</p>
<p><b>MDD Learning Factory</b></p>	<p><b>Conceito:</b> o modelo é modular, descentralizado e digital. Adequação de um laboratório com apenas RFID para um modelo com layout flexível para diferentes processos. Módulos: simulação discreta, emulação virtual.</p> <p><b>Metodologias:</b> autor não aborda metodologias de ensino.</p> <p><b>Tecnologias:</b> CPS, Motor de Passo Arduino, esteira, virador, empurrador, empurrador com armazenamento, braço robótico e estoque com prateleiras de base automática.</p>	<p>LANG et al., 2018</p>
<p><b>USP Test Bed Learning Factory</b></p>	<p><b>Conceito:</b> o modelo é pautado na criação de um ambiente de Test Bed para projetos entre alunos, pesquisadores e professores. A montagem é customizada com base em pedidos de rodas em diferentes cores.</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>Test Bed</i>, <i>university/industry partnership</i>, <i>concept-based learning</i>, e modelo similar a <i>flipped classroom</i>.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Tablet com ERP-MES, câmera com <i>machine learning</i>, manufatura aditiva, caixa de conectividade e montagem, CAD e PLM.</p>	<p>LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</p>
<p><b>Smart Production Lab FH JOANNEUM</b></p>	<p><b>Conceito:</b> o modelo abrange a pesquisa digital e o ensino prático como foco interdisciplinar utilizando integração vertical e horizontal de sistemas.</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>Interdisciplinary nature</i>, busca integrar e combinar diversos aspectos da produção digital do chão de fábrica com reports em tempo e real e análise de dados. O <i>case-based learning</i> como forma de aprendizado ativo, colocar o aluno no centro do processo de educação (<i>flipped classroom</i>).</p> <p><b>Tecnologias:</b> Máquina CNC Fresadora 1005 e CLP conectado ao IoT para recebimento de dados por protocolo padronizado, web-based software, NoSQL Databases para armazenamento de dados, e uso de Dashboards Grafana para Cloud Computing para análise</p>	<p>MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</p>

	e monitoramento. Além de um auditório para palestras e workshops e discussão em mesa redonda entre indústria/universidade.	
<b>Digital Factory - Showcase factory</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo fundamentado em uma célula de manufatura para fabricação controlada digitalmente de peças simples customizadas e em massa. A célula possui as operações de armazenamento, transporte, fabricação, montagem e operações manuais.</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>University/industry partnerships</i>, por meio do ensino para acadêmicos e para colaboradores de empresas. Treinamento básico teórico e prático para empregados sobre <i>IT- e OT security, statistical analytics</i>.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Robô pick and place, robô transport (Servus robotics), máquina CNC Fresadora (EMCO Concept 55), CNC controle (Heidenhain 640), Sistema CAM (Hypermill), robôs colaborativos (Kuka iiwa), em digitalização de controles aplicado em SCADA (Zenon). Cloud Computing em Java para compartilhamento.</p>	MERZ; HOCH; DREXEL, 2020
<b>Teaching Factory 4.0</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado em adicionar conceitos de tecnologias facilitadoras I4.0 para adequar o <i>Learning Factory</i> existente com foco em integração de dados e análise em tempo real integrando tecnologias de IoT.</p> <p><b>Metodologias:</b> Modelos de aprendizado colaborativo, promoção de conexão com experts de diferentes áreas para atuar no ensino das tecnologias de Educação 4.0 implementadas ao modelo de LF.</p> <p><b>Tecnologias:</b> NFC, AR, VR, CAD, colaboração Human-robot e Big Data Analytics. CPS equipado com sensores conectados à Fator de Transcrição (TF) Databases.</p>	MOURTZIS et al., 2018
<b>Flexible Manufacturing Cell</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado na melhoria da célula de produção existente para projetos CAD de peças 3D, desde o escaneamento, elaboração do projeto CAD até a impressão da peça.</p> <p><b>Metodologias:</b> autor não aborda metodologias de ensino</p> <p><b>Tecnologias:</b> Impressora 3D, Scanner 3D, Braço robótico colaborativo e máquina CNC Fresadora, CAD. (MOURTZIS; ANGELOPOULOS; DIMITRAKOPOULOS, 2020)</p>	
<b>FabLab FH JOANNEUM</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado na integração do modelo FabLab e <i>Learning Factory</i> da instituição.</p> <p><b>Metodologias:</b> Promoção de treinamento teórico e prático de nível básico abordando tópicos sobre aspectos gerais, de segurança e saúde e introdução aos maquinários. Posterior <i>Machine-training-utilization-billing</i>, que consiste em um treinamento mais avançado para o uso das instalações do FabLab.</p> <p><b>Tecnologias:</b> 15 maquinários individuais de injeção, estampagem, corte e soldagem, 4 estações de montagem com máquinas CNC, serras de corte a laser e de vinyl, impressoras 3D, fabricante de filamento de composto e tecnologias de litografia. A integração digital está evoluindo com o auxílio de computadores com</p>	ROPIN; PFLEGER-LANDTHALER; IRSA, 2020

	módulo da B&R Automation X20, e a estação de <i>Smart Production</i> é ligada a um sistema de IoT Cloud Solution.	
<b>Bernard M. Gordon Learning Factory</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado na implementação de 20 sensores comerciais aos equipamentos de produção tradicionais, para proporcionar IoT ao <i>Learning Factory</i>, que segundo os autores é a principal característica da Indústria 4.0</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>Senior Capstone Design Program</i>, com características de <i>Project-Based Learning</i>. A participação de diversos campos de engenharias promove que os projetos sejam feitos com interdisciplinaridade. Também conta com suporte de parceria da indústria.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Impressoras 3D, soldagem, fresadoras, metrologia e CAD/CAM conectados via sistema IoT.</p>	SPILLANE; MENOLD; PARKINSON, 2020
<b>Industry 4.0 Lab</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado em uma pequena produção de envasamento de garrafas, totalmente automatizada com integração de tecnologias I4.0.</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>Self activity/self-organized learning, practical/learning oriented, social/cooperation action, target oriented and critical teamwork. Interdisciplinary learning</i> será analisado para trabalhos futuros.</p> <p><b>Tecnologias:</b> RFID instalado em todas as etapas do processo.</p>	TAN et al., 2020
<b>Simulation - based Learning Factory</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado em uma apresentação conceitual teórica, para estudo futuro da criação de uma <i>Learning Factory</i> 4.0 focada em tecnologias de simulação.</p> <p><b>Metodologias:</b> Modelo de ensino imersivo em modelos digitais de linhas de produção, é feito o uso de realidade aumentada e realidade virtual</p> <p><b>Tecnologias:</b> Inteligência Artificial, VR, AR e Digital Twin.</p>	TVENGE et al., 2020
<b>Learning Factory Projetos Interdisciplinares</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado na criação de modelo 3D de peças e melhorias do projeto antes da produção do protótipo físico.</p> <p><b>Metodologias:</b> <i>University/Industry partnership</i>, aprendizado com estudos de caso para coleta de dados e fase de desenvolvimento de pesquisas de inovação. <i>Project-Based learning</i> identificado no desenvolvimento de protótipos.</p> <p><b>Tecnologias:</b> Célula automatizada para prototipagem. Scanner 3D, Computer-Aided Process/Planning (CAPP), CAD e Virtual Prototyping.</p>	VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019
<b>SMTE Reference System</b>	<p><b>Conceito:</b> modelo baseado na ferramenta de referência para ensino das camadas presentes na arquitetura de um sistema <i>Smart Manufacturing</i>.</p> <p><b>Metodologias:</b> Disciplina específica desenvolvida, <i>system of SMTE</i>, os treinamentos são oferecidos a indústria e a acadêmicos de graduação até ensino superior. Os níveis de cursos e aplicações variam de acordo com o nível de capacitação, flutua do básico, tecnológico, implementação, gestão, plataforma,</p>	ZHANG et al., 2019



	<p>aplicação e industrialização. Presença forte de conceito <i>university/industry partnership</i>.</p> <p><b>Tecnologias:</b> CPS na camada Técnica, tecnologias das áreas de ICT Factory na camada de implementação. Plataforma (SCADA) para atender a camada de plataforma (Big Data, Cloud Computing, Internet e Inteligência Artificial).</p>	
--	--	--

**Fonte: Autoria própria**

A partir dos modelos de *Learning Factory 4.0* apresentados no Quadro 12, evidenciou-se que as metodologias de ensino e as tecnologias são elementos essenciais para a modelagem de um *Learning Factory 4.0*. Dessa forma, a seção a seguir apresenta a metodologia de ensino e as tecnologias presentes na UTFPR-PG.

### 4.3 ESTUDO DE CASO

A UTFPR-PG criou as disciplinas intituladas “Industry 4.0” e “Engineering Design Process (EDP)”, a fim de atender à crescente demanda da indústria por capacitação específica na área. Nesta seção é apresentado o modelo de ensino empregado atualmente na instituição de ensino nas abordagens metodológicas e estrutural.

#### 4.3.1 Abordagem Metodológica de Ensino

Segundo Yoshino et al. (2020), a UTFPR-PG começou a implementar em 2017, conteúdos relacionados a Indústria 4.0 em sua grade curricular por meio da elaboração de uma ementa, desenvolvida especialmente para as disciplinas Industry 4.0 e EDP.

A ementa do curso foi elaborada com a finalidade de complementar o ensino teórico e prático, e servir de diretriz para a criação da abordagem metodológica (UTFPR-PG, 2021). A ementa das disciplinas contempla os conteúdos citados a seguir:

- Industry 4.0: IV Revolução Industrial: indústria 4.0. Impulsionadores físicos, digitais e biológicos da indústria 4.0. Projetos piloto para a indústria 4.0.

- EDP: Diagnóstico da empresa; Definição do problema do projeto; Medição do problema; Análise do problema proposto; Proposta de melhorias; Controle dos projetos.

Considerando os conteúdos supracitados, a UTFPR-PG realizou pesquisas e angariou investimentos para estruturar e criar um modelo educacional visando desenvolver as expertises dos alunos sob os requisitos da Indústria 4.0 de forma assertiva.

A determinação do modelo educacional mais adequado à realidade da instituição foi realizada pelo estudo de Yoshino et al. (2020). Nesse estudo, foi conduzido uma análise de multicritério para determinar e priorizar as competências necessárias a serem desenvolvidas nos alunos participantes, assim como as respectivas metodologias educacionais de ensino necessárias para desenvolvê-las na disciplina.

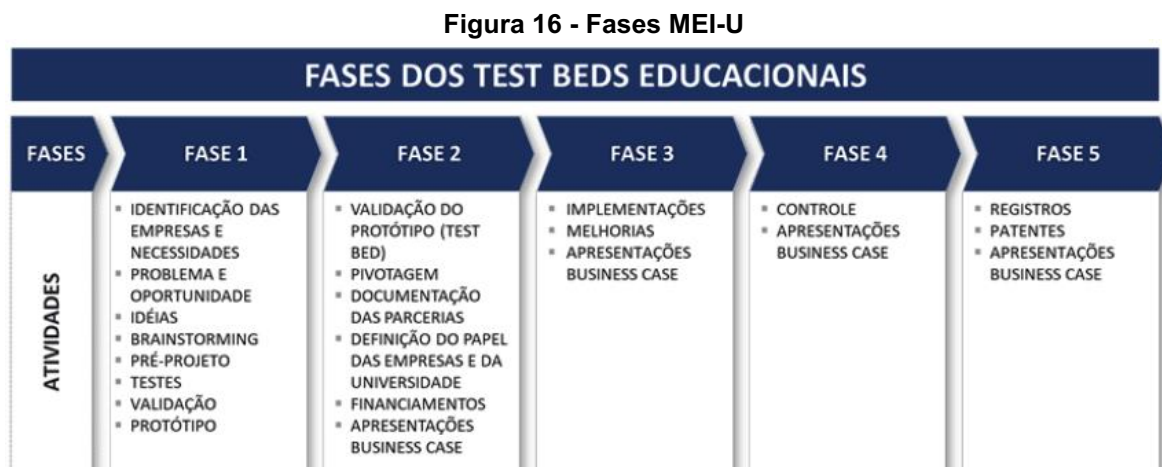
Foram consideradas como um dos fatores de priorização, as necessidades da bancada de decisão do estudo, composta de professores mestres, doutores e parceiros das indústrias regionais. A partir das metodologias priorizadas, posteriormente, foi fomentado aportes financeiros, advindos de instituições educacionais e empresas parceiras (YOSHINO et al., 2020).

Dentre as competências a serem desenvolvidas, destacam-se habilidades técnicas, metodológicas, sociais e pessoais, necessárias num ambiente interativo, dinâmico e de constante mudança. Buscam-se a criatividade, *Problem-solving*, pensamento empreendedor, resolução de conflitos, tomada de decisão, orientação à eficiência e habilidades analíticas, de pesquisa, língua, comunicação, interculturais, liderança, trabalho em equipe, ética, e aprendizado independente (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ et al., 2020).

Sendo assim, o estudo de Yoshino et. al (2020) priorizou quatro metodologias de ensino capazes de desenvolver as competências supracitadas: *University/Industry partnership*, *Flipped Classroom* e *Multidisciplinary teamwork* e *Project-Based Learning*.

A combinação dessas metodologias de ensino deu origem, em 2017, ao modelo de *Educational Test Bed 4.0* que, a partir de 2019 foi cunhada por Metodologia de Ensino Inovador da Universidade (MEI-U), com intuito de conduzir as disciplinas (YOSHINO et al., 2020).

No modelo MEI-U, as atividades seguem uma organização estruturada em cinco fases (PROGRAD, 2020) conforme o fluxograma apresentado na Figura 16.



Fonte: MEI-U (2021)

A Fase 1, caracteriza-se por uma introdução às empresas parceiras, suas principais necessidades e definições gerais do escopo dos trabalhos. Nota-se nessa fase a presença da metodologia “*university/industry partnerships*”, que diz sobre a parceria entre empresas e instituições de ensino. De acordo com a metodologia, essa fase tem como objetivo garantir o engajamento pelas partes externas, e total compreensão dos desafios enfrentados no mercado de trabalho (YOSHINO et al., 2020).

Essas parcerias são destacadas por gerar melhoria de competitividade, versatilidade e interoperabilidade no decorrer da era indústria 4.0 (MIAN et al., 2020). Além disso, de forma colaborativa, possibilita o estreitamento de relacionamento e recebimento de apoio na aquisição de suprimentos como: hardwares, softwares e serviços necessários para o bom funcionamento estrutural de uma *Learning Factory*. (LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020).

A Fase 2 é definida pela elaboração dos projetos escolhidos na Fase 1. São realizados todos os estudos necessários, ensaios de prototipagem, e definições das responsabilidades dos envolvidos para concretização de soluções em tese. Nessa fase também ocorre a formação de equipes com alunos de diferentes áreas de conhecimento, atendendo a metodologia de *Multidisciplinary teamwork* (YOSHINO et al., 2020).

A característica de multidisciplinaridade definida por Yoshino et al. (2020) é aplicada na seleção das equipes de cada projeto do MEI-U, uma vez que já se tem, nessa fase, amplo entendimento das necessidades dos projetos apresentados pelas empresas. São contemplados alunos de todos os cursos de bacharelado, licenciatura e tecnologias dos 13 campi da Rede UTFPR.

De acordo com o edital UTFPR-PG (2020) estão aptos a se inscreverem os alunos com conclusão de pelo menos 60% da grade curricular para os cursos de engenharia, e 50% para os cursos de licenciatura e tecnologias. Esse requisito tem como objetivo maximizar a aplicação do conhecimento, considerando as disciplinas chave cursadas até o período requisitado, uma vez que, entende-se que o aluno já possui maturidade técnica para atender às necessidades dos projetos do MEI-U voltados para a Indústria 4.0.

Segundo a definição da ementa UTFPR-PG (2020), o Quadro 13 exhibe os cursos com seus respectivos pré-requisitos de elegibilidade as disciplinas.

**Quadro 13 - Pré-requisitos Disciplinas Industry 4.0 e EDP**

CURSOS ELEGÍVEIS À DISCIPLINA	PRÉ-REQUISITOS
Todos os bacharelados, licenciaturas e tecnologias dos 13 campi da Rede UTFPR.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ser estudante regularmente matriculado em um dos cursos de graduação da UTFPR;</li> <li>- Possuir um coeficiente de rendimento normalizado igual ou superior a 0,4;</li> <li>- 6º/10º período para as Engenharias;</li> <li>- 5º/8º período para o Bacharelado;</li> <li>- 4º/ 6º período para as Licenciaturas e Tecnologias;</li> </ul>

**Fonte: UTFPR-PG (2020)**

Dessa forma, é possível alocar os alunos mais capacitados a atender as necessidades de cada projeto, em todas as áreas de conhecimento, para a entrega total ao fim da disciplina, maximizando a chance de implementação dos projetos nas empresas parceiras UTFPR-PG (2020).

A Fase 3 é dedicada ao desenvolvimento e implementação das melhorias estudadas na fase anterior. Os projetos elaborados, por meio da metodologia *Project-Based Learning*, são implementados conforme o aprendizado dos alunos acerca dos problemas. Nessa fase, é realizada uma validação e melhoria contínua no processo, mediante os desafios que se apresentam no decorrer da disciplina e as apresentações de estudos de caso (ZHANG, X. et al., 2019).

As Fases 4 e 5, dão conclusão ao projeto e fechamento nas disciplinas. Nessa fase, há a realização dos controles finais dos projetos implementados, que garantem a validação da eficácia das soluções propostas e amplitude de suas aplicações. As apresentações dos resultados são feitas por cada equipe a todos os demais participantes da disciplina (MEI-U, 2021).

O conceito de *Flipped Classroom*, ou aula invertida, se faz presente nessas duas fases. Esse conceito é considerado por Umachandran et al. (2018) como uma evolução do modelo de aulas tradicionais, onde apenas o professor tem participação ativa sobre o tema, para um estilo onde os alunos participam ativamente na exposição dos conteúdos, e o professor atua como um orientador.

Hincapié et al. (2020) também menciona a abordagem de *Flipped Classroom*, como uma composição acessível à educação e eficiente para atender a demanda imposta pelos desafios futuros, juntamente com os avanços no uso de softwares e estudos online. Além disso, o estudo de Hasan; Mallk e Tsou (2020) apontam a metodologia como um dos aspectos chave a serem usados por professores relacionados a estudos de engenharia.

No caso das disciplinas Industry 4.0 e EDP, esse modelo favorece a aprendizagem de todo o conteúdo disseminado durante o projeto entre os participantes, e atua como *benchmarking* para outros projetos de outras empresas parceiras. Por fim, os registros de patentes dos projetos elegíveis são organizados e documentados como as entregas finais do MEI-U (YOSHINO et al., 2020).

As atividades das 5 fases abordadas são realizadas durante as disciplinas que oferecem uma carga horária de 120 horas. A divisão da carga horária segue o plano de atividades apresentadas no Quadro 14.

**Quadro 14 - Plano de Atividades para a disciplina Indústria 4.0**

<b>ATIVIDADE TEÓRICAS</b>	<b>ATIVIDADES PRÁTICAS</b>	<b>ATIVIDADES NÃO PRESENCIAIS</b>
(20 horas) – Aulas teóricas em sala de aula sobre Industry 4.0;	(30 horas) – Atividades desenvolvidas na UTFPR no Living Lab, laboratório de Automação e Controle, laboratório FCA, Usinagem, Research Group Industry 4.0 e laboratório de Indústria 4.0, reuniões com professores e monitores e apresentações. Parceria com Intellilab (Université de Sherbrooke).	(70 horas) - Atividades nas empresas (visitas às empresas, reuniões nas empresas, coleta de informações, levantamentos, análises, treinamento nas empresas) e reuniões entre os membros das equipes.

**Fonte: UTFPR-PG (2020)**

De acordo com o Quadro 14, toda a carga horária foi esquematizada de forma a incluir todas as fases do MEI-U. As atividades teóricas, ocupam cerca de 20 horas, dedicadas a apresentação teórica de conteúdos de introdução a Indústria 4.0. Aproximadamente 30 horas, são destinadas as atividades práticas na instituição de ensino, como treinamentos nos laboratórios *Living Lab* e *Industry 4.0 Lab*. As demais 70 horas são alocadas para que as equipes se dediquem em visitas as empresas, reuniões, execução e implementação de atividades para o desenvolvimento dos projetos. Também, dentro dessa mesma carga horária, são executadas as apresentações finais, tanto na universidade quanto nas empresas, realização de treinamento de colaboradores para o uso das novas tecnologias, ou definições de próximas etapas do projeto (UTFPR-PG, 2020).

Visto toda a complexidade da disciplina Indústria 4.0, e visando melhorar a organização das atividades e fases mencionadas anteriormente, a UTFPR-PG em parceria com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), desenvolveram um website e uma plataforma on-line para o MEI-U (MEI-U, 2021).

Ambos os canais de acesso oferecem suporte administrativo e informativo às disciplinas, favorecem a dinâmica de seleção dos acadêmicos interessados, ampliando a possibilidade de inscritos, sem comprometer o acompanhamento da disciplina e o rendimento no desenvolvimento dos projetos.

Os parceiros da indústria também podem acessar o website e a plataforma online onde ficam disponibilizados a base de currículos dos alunos participantes, o andamento dos projetos ativos e os já concluídos, o que por sua vez, proporciona visibilidade ao MEI-U e a instituição de ensino.

Até a finalização deste trabalho, as disciplinas Industry 4.0 e EDP totalizam 146 projetos desenvolvidos em aproximadamente 15 empresas parceiras, com a participação de mais de 840 alunos de graduação e de pós-graduação de todas as áreas de formação citadas no Quadro 13 (MEI-U, 2021). Entre os projetos já executados, o Quadro 15 apresenta as áreas temáticas e os segmentos industriais atendidos.

**Quadro 15 - Projetos e Segmentos Industriais atendidos**

<b>ÁREAS TEMÁTICAS PROJETO</b>	<b>SEGMENTO INDUSTRIAL ATENDIDO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inteligência Artificial – imagem e dados</li> <li>- Machine Learning</li> <li>- Redes Neurais</li> <li>- Logística</li> <li>- Supply chain</li> <li>- Previsibilidade</li> <li>- Tratamento estatístico</li> <li>- Qualidade</li> <li>- Automação</li> <li>- Lean Manufacturing</li> <li>- Processos químicos</li> <li>- Manufatura</li> <li>- Redução de custos</li> <li>- Aumento de produtividade</li> <li>- Indústria 4.0</li> <li>- Novos modelos de negócios</li> <li>- Apresentações</li> <li>- Compras</li> <li>- Saúde</li> <li>- Web</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Segmento Aeronáutico</li> <li>- Segmento Alimentício</li> <li>- Segmento Automotivo</li> <li>- Segmento Cervejeiro</li> <li>- Segmento de Automação</li> <li>- Segmento de Borrachas</li> <li>- Segmento de Cosmético e Perfumaria</li> <li>- Segmento de Embalagem</li> <li>- Segmento de Papel e Celulose</li> <li>- Segmento de Papelaria</li> <li>- Segmento de Máquinas</li> </ul>

**Fonte: MEI-U (2021)**

A maturidade da disciplina alcançada ao longo dos projetos realizados no período de 2018 a 2021 em ambas as disciplinas, foram possíveis em virtude da metodologia de ensino utilizada e a estrutura física disponibilizada pela UTFPR-PG aos alunos. A seção a seguir discorre sobre todos os avanços conquistados em termos da abordagem estrutural construída especificamente para o ensino aplicado das tecnologias de indústria 4.0.

#### 4.3.2 Abordagem Tecnológica de Ensino

De modo a viabilizar e proporcionar o atendimento à disciplina Indústria 4.0, a UTFPR-PG consolidou parcerias que possibilitaram a construção de laboratórios de ensino prático voltados as disciplinas Industry 4.0 e EDP.

O norteador *University/Industry partnership*, apresentado no estudo de Yoshino et al. (2020), consolidaram parcerias com sete companhias de diferentes segmentos industriais, e um relacionamento institucional com a Associação Brasileira de Desenvolvimento da Indústria (ABDI), que resultaram no recebimento de aportes financeiros, totalizando aproximadamente R\$ 485.350,00, destinados à construção

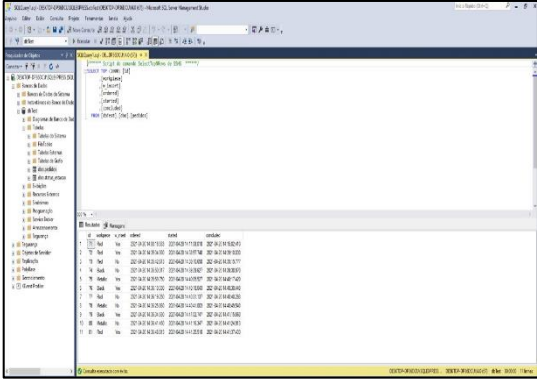
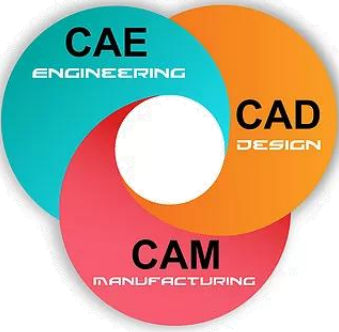
dos laboratórios *Living Lab* e *Industry 4.0 Lab* e aquisição de equipamentos e softwares, conforme dispostos no Quadro 16.

**Quadro 16 - Infraestrutura dos laboratórios Living Lab e Industry 4.0 Lab**

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO / INVESTIMENTO
<p style="text-align: center;"><b>Living Lab</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Industry 4.0 Lab</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> Salas de estudo com 10 m<sup>2</sup> e 25 m<sup>2</sup> mobiliado destinadas para envolver os usuários e <i>stakeholders</i> na co-criação e testagem de ideias para novos projetos e desenvolvimento de produtos, serviços e tecnologias, através de experimentos e simulações no laboratório “vivo”.</p> <p><b>Investimento total:</b> R\$ 86.433,00* *reforma sala de estudo e mobília</p>
<p style="text-align: center;"><b>Sistema Modular de Produção MPS® Festo Didactic</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>RFID</b>                      <b>CLP</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> 01 Sistema de Produção Modular destinado à um sistema de aprendizagem mecatrônico. Utilizado na formação no ensino prático voltado à indústria na engenharia e tecnologia de automação. Possui elevado nível de modularidade do sistema, combinação de estações, módulos e acessórios para criar uma linha de produção personalizada, de acordo com os objetivos e cenários de aprendizagem.</p> <p><b>Descrição:</b> 01 RFID utilizado na identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de dispositivos denominados etiquetas RFID.</p> <p><b>Descrição:</b> 01 CLP um equipamento eletrônico especializado que desempenha funções de controle e monitoramento de máquinas e processos industriais de diversos tipos e níveis de complexidade, através de programas específicos desenvolvidos pelo usuário (cada controlador possui o próprio software).</p> <p><b>Investimento total:</b> R\$ 250.000,00* * R\$ 100.000,00 de parceiros R\$ 150.000,00 ABDI</p>



<p><b>Impressora 3D MakerBot</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> 01 impressora 3D que realiza prototipagem rápida, para a fabricação aditiva por meio impressão tridimensional por sucessivas camadas de material.</p> <p><b>Investimento total:</b> R\$ 10.500,00</p>
<p><b>Scanner 3D portátil</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> 03 Scanner 3D destinado para analisar tridimensionalmente um objeto real e converter suas medidas reais em modelo digital.</p> <p><b>Investimento total:</b> R\$ 15.000,00* <i>*estimado</i></p>
<p><b>Computador Dell Intel Core i5</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> 06 computadores como equipamento suporte para processamento e tratamento de dados.</p> <p><b>Investimento total:</b> R\$ 30.000,00</p>
<p><b>Workstation</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> 03 workstations - Lenovo, com placa de vídeo modelo NVIDIA quadro P620 utilizadas em segmentos profissionais que demandam grande capacidade de processamento gráfico, qualidade audiovisual superior e de execução de programas específicos para cada área de atuação.</p> <p><b>Investimento total:</b> R\$ 30.000,00</p>

<p style="text-align: center;"><b>Banco de Dados - SQL Query</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> 01 banco de dados com um conjunto de arquivos relacionados entre si de forma organizada os dados que se relacionam de forma a criar algum sentido (informação) e dar mais eficiência durante uma pesquisa ou estudo científico.</p>
<p style="text-align: center;"><b>CAE/CAD/CAM</b></p> 	<p><b>Descrição:</b> softwares utilizados para criação de produtos. Desde a sua concepção (CAD), passando pela análise de engenharia (CAE) e sua fabricação (CAM).</p>

**Fonte: Autoria própria**

Com base nos recursos adquiridos apresentados no Quadro 16, foi possível mapear todas os elementos tecnológicos presentes nos laboratórios da UTFPR-PG, assim como as suas estruturas físicas.

Fundamentado nas abordagens metodológicas e estruturais que compõem o ensino prático voltado para indústria 4.0 ofertado pela UTFPR-PG, a próxima seção faz um comparativo dos elementos metodológicos e tecnológicos no *Learning Factory* identificados na literatura com aos presentes na instituição de ensino objeto de estudo.

#### 4.4 PROPOSTA DE MELHORIA DO LABORATÓRIO DE ENSINO 4.0 DA UTFPR-PG EM UM MODELO DE LEARNING FACTORY 4.0

Em virtude da necessidade das instituições de ensino terem um ambiente em que todas as tecnologias possam ser exploradas, e suas funcionalidades e aplicações entendidas no mercado de trabalho, de maneira segura e eficiente, a UTFPR do campus de Ponta Grossa vem ampliando seus estudos e investimentos a fim de ser referência no uso desses recursos para o ensino de sua academia e,

consequentemente prover benefícios a todo o polo industrial da região dos Campos Gerais.

Diante deste cenário, realizou-se um comparativo, apresentado nos Quadros 17 e 18, entre a literatura pesquisada e a realidade da UTFPR-PG, em relação aos elementos metodológicos e tecnológicos, compilados no Quadro 12, mais relevantes para compor um *Learning Factory 4.0*, respectivamente.

**Quadro 17 - Comparativo das metodologias ranqueadas pela literatura x presentes na UTFPR - PG necessárias para a melhoria do Lab 4.0 para LF 4.0.**

LITERATURA				UTFPR-PG
RANKING	SCORE*	METODOLOGIA	AUTORES	
1	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Action oriented</i></li> <li>- <i>Active learning</i></li> <li>- <i>Capstone Projects</i></li> <li>- <i>Experimental learning</i></li> <li>- <i>Practical oriented</i></li> <li>- <i>Practice-based learning</i></li> <li>- <i>Problem-based learning</i></li> <li>- <b><i>Project-based learning</i></b></li> <li>- <i>Treinamentos práticos</i></li> <li>- <i>Work-based learning</i></li> <li>- <i>Work-bound learning</i></li> <li>- <i>Work-connected learning</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ABELE et al., 2017</li> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- HASAN; MALLK; TSOU, 2020</li> <li>- HINCAPIÉ et al., 2020</li> <li>- KUMAR et al., 2021</li> <li>- MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</li> <li>- ROPIN; PFLEGER-LANDTHALER; IRSA, 2020</li> <li>- SPILLANE; MENOLD; PARKINSON, 2020</li> <li>- TAN et al., 2020</li> <li>- UMACHANDRAN et al., 2018</li> <li>- VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019</li> <li>- ZHANG, X. et al., 2019</li> <li>- YOSHINO et al., 2020</li> </ul>	✓
2	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Case-based learning</i></li> <li>- <b><i>Concept-based learning</i></b></li> <li>- <i>Learning oriented</i></li> <li>- <i>Treinamentos teóricos</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> <li>- MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</li> <li>- MERZ; HOCH; DREXEL, 2020</li> <li>- ROPIN; PFLEGER-LANDTHALER; IRSA, 2020</li> <li>- TVENGE et al., 2020</li> <li>- VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019</li> <li>- ZHANG et al., 2019</li> <li>- YOSHINO et al., 2020</li> </ul>	✓
3	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b><i>University/Industry partnership</i></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GUALTIERI et al., 2019</li> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> <li>- MERZ; HOCH; DREXEL, 2020</li> <li>- VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019</li> <li>- ZHANG et al., 2019</li> <li>- YOSHINO et al., 2020</li> </ul>	✓
4	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b><i>Flipped classroom</i></b></li> <li>- <i>Self-activity</i></li> <li>- <i>Self-organized learning</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> <li>- MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</li> <li>- MOURTZIS et al., 2018</li> <li>- TAN et al., 2020</li> <li>- YOSHINO et al., 2020</li> </ul>	✓
4	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Critical teamwork</i></li> <li>- <i>Interdisciplinary nature</i></li> <li>- <b><i>Multidisciplinary learning</i></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KUMAR et al., 2021</li> <li>- MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</li> <li>- SPILLANE; MENOLD; PARKINSON, 2020</li> <li>- TAN et al., 2020</li> <li>- YOSHINO et al., 2020</li> </ul>	✓
5	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Simulation-based learning</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANDRES; ALVARO; JULIAN, 2019</li> <li>- SPILLANE; MENOLD; PARKINSON, 2020</li> </ul>	✓

5	2	– <i>Collaborative learning</i>	– MOURTZIS et al., 2018 – TAN et al., 2020	✓
6	1	– <i>Target oriented</i>	– TAN et al., 2020	✗
* Número de artigos contendo o elemento metodológico – Quadro 12				

Fonte: Autoria própria

Conforme o Quadro 17, nota-se uma ampla variedade de nomenclaturas utilizadas para metodologias semelhantes. Para a melhor compreensão, os conceitos metodológicos foram agrupados em 8 categorias de acordo com a mesma classificação e método de ensino.

O conceito metodológico que aborda o aprendizado baseado em projetos e ensino aplicado, aparece na primeira posição, sendo citado ao todo em 15 artigos do portfólio. O termo em específico “*Project-based learning*” está inserido no MEI-U utilizado pela UTFPR-PG e presente nas disciplinas Industry 4.0 e EDP.

A segunda posição do ranking é ocupada pelo aprendizado baseado em conceitos, ou seja, ensinamentos teóricos. Também é referenciado como estudo de caso por alguns autores. Nessa categoria, a metodologia é abordada nas fases iniciais do MEI-U, por meio das aulas introdutórias aos temas a serem abordados ao longo das disciplinas.

A metodologia *university/industry partnership*, presente no terceiro grupo ranqueado, é contemplado para os modelos de ensino que mencionam a participação da indústria em qualquer nível, ou seja, através do ensino, treinamentos para colaboradores, ou em implementação de projetos para empresas parceiras. O elemento metodológico é amplamente abordado no MEI-U presente na UTFPR-PG.

Na quarta posição, identificou-se os elementos metodológicos que priorizam a participação central e ativa dos alunos na exposição de conteúdo, sejam eles teóricos ou práticos. Destaca-se o termo *Flipped classroom*, mencionado explicitamente por 3 autores (LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020; HINCAPIÉ et al., 2020; UMACHANDRAN et al., 2018), e que também compõem o método de ensino adotado na metodologia MEI-U na UTFPR-PG (YOSHINO et al., 2020).

Ainda em quarta posição, tem-se em destaque o elemento de multidisciplinaridade, *multidisciplinary learning*, também é abordado por *interdisciplinary learning*, e por *critical teamwork*. Notou-se a adoção do termo em 4 artigos, referenciado o seu uso em diversas áreas de conhecimento e especialidades de engenharias, como no caso abordado pela MEI-U na UTFPR-PG.

Os dois grupos ranqueados em quinto lugar, abrangendo as metodologias *simulation-based learning* e *collaborative learning* foram identificadas com menos aparição, apenas 2 artigos cada. Entretanto tais elementos metodológicos, se faz presente na metodologia MEI-U em decorrência do desenvolvimento de projetos focados em Inteligência Artificial, e da presença do espírito colaborativo entre as equipes participantes dos projetos desenvolvidos pelas disciplinas Industry 4.0 e EDP. MEI-U.

Já para a metodologia *target-oriented*, ranqueada em último lugar, sugere-se que seja mais amplamente pesquisada para o total entendimento desta abordagem e possibilidade de benefícios relacionados.

De forma geral, todos os modelos de *Learning Factory 4.0* apresentados no Quadro 6, possuem de forma intrínseca alguma metodologia presente em seus respectivos estudos, porém, alguns autores não abordaram de forma clara em seus estudos, dando foco apenas a exposição dos elementos tecnológicos.

Para esses elementos em específico, o Quadro 18 traz um comparativo, seguido de uma breve discussão acerca das tecnologias presentes nos modelos de *Learning Factory 4.0* identificadas na literatura e apresentadas no Quadro 6.

**Quadro 18 - Comparativo das tecnologias ranqueadas pela literatura x presentes na UTFPR - PG necessárias para a melhoria do Lab 4.0 para LF 4.0.**

PILAR	LITERATURA				UTFPR-PG
	RANKING	SCORE*	TECNOLOGIA	AUTORES	
Simulação	1	10	CAD ( <i>Computer-Aided Design</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ABELE et al., 2017</li> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> <li>- MOURTZIS et al., 2018</li> <li>- MOURTZIS; ANGELOPOULOS; DIMITRAKOPOULOS, 2020</li> <li>- SPILLANE; MENOLD; PARKINSON, 2020</li> <li>- VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019</li> </ul>	✓
	2	5	VR ( <i>Virtual Reality</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANDRES; ALVARO; JULIAN, 2019</li> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- GUALTIERI et al., 2019</li> <li>- MOURTZIS et al., 2018</li> <li>- TVENGE et al., 2020</li> </ul>	✗
	2	5	<i>Digital Twin</i> ( <i>Tecnomatix Plant Simulation / Flexsim</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANDRES; ALVARO; JULIAN, 2019</li> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> <li>- GUALTIERI et al., 2019</li> <li>- MOURTZIS et al., 2018</li> <li>- TVENGE et al., 2020</li> </ul>	✗

	3	4	CAM (Computer-Aided Manufacturing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- MERZ; HOCH; DREXEL, 2020</li> <li>- SPILLANE; MENOLD; PARKINSON, 2020</li> </ul>	✓
	4	3	CAE (Computer-Aided Engineering)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> </ul>	✓
	5	1	CAPP (Computer-Aided Process Planning)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019</li> </ul>	✗
	5	1	CRAFT (software de otimização de layout)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANDRES; ALVARO; JULIAN, 2019</li> </ul>	✗
	5	1	Black Hole (software de otimização de layout)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANDRES; ALVARO; JULIAN, 2019</li> </ul>	✗
	5	1	Virtual Prototyping	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019</li> </ul>	✗
	5	1	VD (Virtual Design)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ANDRES; ALVARO; JULIAN, 2019</li> </ul>	✗
Internet of Things (IoT)	1	4	RFID (Radio Frequency Identification)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- LANG et al., 2018</li> <li>- TAN et al., 2020</li> </ul>	✓
	1	4	CLP (Controlador Lógico Programável)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> <li>- KUMAR et al., 2021</li> <li>- MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</li> </ul>	✓
	2	1	NFC (Near Field Communication)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MOURTZIS et al., 2018</li> </ul>	✗
Realidade Aumentada	1	4	Scanner 3D / Smart Camera / Camera Machine Learning	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> <li>- MOURTZIS; ANGELOPOULOS; DIMITRAKOPOULOS, 2020</li> <li>- VIJAYAN; MORK; GISKE, 2019</li> </ul>	✓
Manufatura Aditiva	1	7	Impressora 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> <li>- MOURTZIS; ANGELOPOULOS; DIMITRAKOPOULOS, 2020</li> <li>- ROPIN; PFLEGER-LANDTHALER; IRSA, 2020</li> <li>- SPILLANE; MENOLD; PARKINSON, 2020</li> </ul>	✓
	2	2	Serra de corte a laser	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> <li>- ROPIN; PFLEGER-LANDTHALER; IRSA, 2020</li> </ul>	✗
	3	1	Gravadora a Laser	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> </ul>	✗
Big Data Analytics	1	1	SQL DataBases	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KUMAR et al., 2021</li> </ul>	✓
	1	1	NoSQL DataBases	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</li> </ul>	✗
Cloud Computing	1	5	PLM (Product Lifecycle Management)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> </ul>	✗
	2	3	ERP (Enterprise Resource Planning)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- GUALTIERI et al., 2019</li> <li>- LEAL; FLEURY; ZANCUL, 2020</li> </ul>	✗
	3	2	ICT Factory (Tecnologias da informação e comunicação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BAENA et al., 2017</li> <li>- ZHANG et al., 2019</li> </ul>	✗

Robôs Autônomos	1	7	Máquina CNC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- MAYER; TANTSCHER; BISCHOF, 2020</li> <li>- MERZ; HOCH; DREXEL, 2020</li> <li>- MOURTZIS; ANGELOPOULOS; DIMITRAKOPOULOS, 2020</li> <li>- ROPIN; PFLEGER-LANDTHALER; IRSA, 2020</li> </ul>	x
	2	6	robôs/braço robótico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- GRUBE; MALIK; BILBERG, 2019</li> <li>- GUALTIERI et al., 2019</li> <li>- LANG et al., 2018</li> <li>- MERZ; HOCH; DREXEL, 2020</li> <li>- MOURTZIS; ANGELOPOULOS; DIMITRAKOPOULOS, 2020</li> </ul>	x
Sistemas de Integração	1	8	CPS ( <i>Cyber-physical System</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ABELE et al., 2017</li> <li>- CENTEA; SINGH; ELBESTAWI, 2019</li> <li>- ELBESTAWI et al., 2018</li> <li>- GUALTIERI et al., 2019</li> <li>- KUMAR et al., 2021</li> <li>- LANG et al., 2018</li> <li>- MOURTZIS et al., 2018</li> <li>- ZHANG et al., 2019</li> </ul>	x
	2	2	Plataforma Scada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MERZ; HOCH; DREXEL, 2020</li> <li>- ZHANG et al., 2019</li> </ul>	x
Inteligência Artificial (IA)	1	1	TensorFlow: software para aprendizado de máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KUMAR et al., 2021</li> </ul>	✓
			Não mapeado	Python: linguagem de programação orientada a objetos	✓
			Não mapeado	OCR ( <i>Optical Character Recognition</i> )	✓
			Não mapeado	Yolo ( <i>You only look once</i> )	✓
		Não mapeado	Redes Neurais	✓	
Segurança Cibernética	Não mapeado				

\* Número de artigos contendo o elemento tecnológico – Quadro 12

**Fonte: Autoria própria**

Conforme o Quadro 18, ao todo foram contabilizados 27 elementos tecnológicos relevantes pelos autores da revisão bibliográfica, ranqueadas e classificadas de acordo com os seus respectivos pilares de sustentação da Indústria 4.0.

As tecnologias que mais se destacaram, em escala decrescente, foram o software de simulação CAD (Computer-Aided Design), o sistema de integração CPS (Cyber-physical System), a impressora 3D, as máquinas CNC e os robôs em geral, seguido dos softwares focados em realidade virtual e Digital Twin e o modelo de negócio PLM (Product Lifecycle Management).

Os laboratórios da UTFPR-PG possui 9 das 27 tecnologias apresentadas no Quadro 18, sendo elas: a estrutura para impressão 3D (MarkerBoot) por deposição de materiais, o scanner 3D como suporte de visualização de projetos 3D e prototipagem com custo reduzido, o Sistema Modular de Produção - MPS® Festo Didactic com 3

estações instaladas e integradas em processo de linha de montagem (Distribuição, Pick na Place e Separação), acoplados ao RFID para leitura por rádio frequência das operações de manufatura e ao CLP para desempenhar funções de controle e monitoramento da Planta Cires FESTO, e gerenciado pelo SQL DataBases como plataforma de armazenamento de informações.

Além desses elementos tecnológicos, a UTFPR-PG também possui os softwares TensorFlow, Python, OCR, Yolo e redes neurais voltados para projetos desenvolvidos na área de Inteligência Artificial.

A partir do comparativo apresentado, o presente trabalho sugere como proposta de melhoria aos laboratórios de ensino, voltados para a Indústria 4.0 ao modelo *Learning Factory 4.0*, a integração das metodologias e tecnologias já presentes na UTFPR-PG, que foram expostas nas seções anteriores, e investir nas tecnologias que tiverem relevância mais significativa destacadas no Quadro 18.

Vale ressaltar, que essas tecnologias contribuem para a integração e otimização de sistemas à linha de produção MPS FESTO, que tem como vantagem a elaboração de produtos customizados e produção de relatórios para tomada de decisão assertivos, por meio de uma simulação de linha de produção digitalizada e com conectividade de informações simultaneamente. Além disso, o modelo CPS em estações como proposto por Elbestawi et al. (2019) pode ser uma alternativa para a melhoria contínua e organização de abrangência dos pilares da indústria 4.0. Com isso a seção 4.4 apresenta as considerações sobre o capítulo.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Em um cenário de digitalização crescente no ambiente industrial, tecnologias avançadas e fortemente conectadas pela internet, traduzidas em objetos inteligentes ganham cada vez mais espaço, o que caracteriza uma nova revolução industrial, batizada por Indústria 4.0 Conseqüentemente, essas mudanças tecnológicas e de manufatura, exigem novas formas de aprendizado e diferentes habilidades para atender a força trabalho nesse novo ambiente fabril, o qual é o foco desse trabalho.

A UTFPR – Campus Ponta Grossa já vem desempenhando o ensino teórico e prático voltado para a Indústria 4.0. Essa realidade pode-se ser observada:



- nas disciplinas Industry 4.0 e EDP conduzidas pela metodologia MEI-U;
- nos avanços significativos em termos de parcerias com as indústrias locais e de outras regiões;
- no envolvimento e atuação de professores de diversos departamentos dos 13 campi da Rede UTFPR;
- na interação multidisciplinar dos alunos dos cursos de bacharelado, licenciaturas e tecnologias dos 13 campi da Rede UTFPR;
- na vivência dos alunos no desenvolvimento de projetos reais em um ambiente industrial;
- na participação ativa dos alunos em aulas reversas sobre o tema Industry 4.0 e seus pilares;
- no contato com as tecnologias digitais por meio do ensino prático nos laboratórios presentes na UTFPR-PG com foco na Indústria 4.0;
- na interconexão entre todos os laboratórios disponíveis da Rede UTFPR.

A partir dessas práticas, é perceptível o plano de ação de melhoria contínua do método de ensino almejada pela instituição, que visa amplificar suas aplicações nos projetos das disciplinas *Industry 4.0* e EDP, e ultrapassar o âmbito teórico, proporcionando ensino aplicado em seu modelo MEI-U, que engloba todo o acervo teórico e físico da UTFPR-PG e demais campi.

Os elementos metodológicos e tecnológicos apresentados nesse trabalho para tornar os laboratórios de ensino 4.0 a um modelo *Learning Factory 4.0* na UTFPR-PG, visou o desenvolvimento de múltiplas competências práticas, e a constatação dos benefícios vindos da implementação de tecnologias 4.0, contribuindo ao corpo estudantil a ter uma visão de liderança e tomada de decisão semelhante a comitês corporativos de alta gestão.

Além disso, o modelo foi baseado no reaproveitamento da estrutura da metodologia MEI-U e dos laboratórios *Industry 4.0 Lab* e *Living Lab* da UTFPR, tanto em abordagem metodológica quanto estrutural, pautada na revisão bibliográfica. Essa confirmou que a prática de adequação de *Learning Factories* tradicionais em modelos de Indústria 4.0 é amplamente praticada em todo o mundo, e proporcionam viabilidade econômica de projetos de melhorias contínua.

Por fim, o modelo foi focado em proporcionar o estímulo de empresas parceiras a investirem na aplicação de tecnologias em suas cadeias produtivas, e

contribuírem com aporte financeiro para aquisição de tecnologias e melhoria do Laboratório 4.0 como parte integrante de seus projetos de Pesquisa e Desenvolvimento.

Em síntese, no decorrer desse capítulo, os objetivos específicos: (e) Apresentar o modelo de ensino prático empregado pela UTFPR-PG e (f) Comparar as metodologias e tecnologias identificadas na literatura com a que tem sido executada na UTFPR-PG foram alcançados.

## 5 CONCLUSÃO

A Indústria 4.0 tende a mudar a maneira como as pessoas se interagem entre si e com os meios produtivos e educacionais. Para enfrentar esse novo momento histórico, as instituições de ensino precisam se adequar e adotar novas metodologias de aprendizado que sejam baseadas na teórica e prática, visando soluções de problemas rápidas e assertivas, tendo o foco de modelo avaliativo pautado no comportamento, competências e habilidades.

Partindo dessa premissa, todos os objetivos propostos nesse trabalho foram consolidados. O objetivo geral “apresentar uma proposta de melhoria do Laboratório de Ensino 4.0 da UTFPR-PG em um modelo *Learning Factory 4.0*” foi atingido na seção 4.4. Os objetivos específicos compreendidos em (a) identificar as características pertinentes à Indústria 4.0 no cenário mundial e brasileiro e (b) estabelecer os componentes de sustentação da Indústria 4.0 foram atingidos na seção 2.1. Sucessivamente, o objetivo específico (c) identificar os impactos da Indústria 4.0 no setor educacional e a importância de seu desenvolvimento para a economia, instituições de ensino e a sociedade como um todo foi cumprido na seção 2.2. Por fim, os objetivos específicos (d) identificar e compilar os modelos, metodologias e tecnologias existentes no contexto de *Learning Factory 4.0*, (e) apresentar o modelo de ensino prático empregado pela UTFPR-PG e (f) comparar as metodologias e tecnologias identificadas na literatura com a que tem sido executada na UTFPR-PG, foram consumados nas seções 4.2 e 4.3.

A partir dos objetivos atingidos, a pergunta problema “Quais os elementos necessários para realizar melhorias no Laboratório de Ensino 4.0 da UTFPR-PG em um modelo de *Learning Factory 4.0* a fim de ampliar o ensino prático voltado para a Indústria 4.0?” foi respondida ao longo desta pesquisa, pontuando como principais os elementos metodológicos e tecnológicos, e viabilizando as contribuições no âmbito acadêmico, uma vez que este estudo abordou uma discussão teórica com produção de material de apoio para futuros trabalhos relacionados a *Learning Factory 4.0*, social, em decorrência a propor melhorias em um ambiente focado em ensino prático na instituição de ensino, e econômico, por proporcionar visibilidade e estímulos à futuras parcerias e investimentos.

Respalhada na revisão da literatura foi possível concluir que, entre os 20 modelos de *Learning Factory* compilados, o modelo MEI-U empregado pela UTFPR-

PG vai de encontro com as metodologias praticas por outras instituições de ensino no mundo. Além disso, é necessário que novas abordagens de ensino prático sejam implementadas além do ensino teórico, e capacitação prática tradicional.

Entre os conhecimentos teóricos da Indústria 4.0 destaca-se a implementação de aulas teóricas voltados para o ensino de conceitos de CPS e Inteligência Artificial, já que os laboratórios voltados para Indústria 4.0 contam com equipamentos digitalmente interconectados, e os projetos desenvolvidos pelas disciplinas Industry 4.0 e EDP são voltados para área de IA.

Conclui-se também que, entre as 27 tecnologias citadas pelos autores base desse estudo, as mais relevantes para melhorar e investir nos laboratórios 4.0 inicialmente, são as que estão inseridas nos pilares Simulação, Manufatura Aditiva, Sistema de Integração, Robôs Autônomos e Cloud Computing.

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam pesquisados os seguintes temas:

1. Estudo de viabilidade técnica-financeira (*feasibility/ cost reduction*) para fase inicial nos projetos da disciplina;
2. Pesquisa com os resultados obtidos na aplicação dos 127 projetos já aplicados;
3. Desenvolver pesquisa e resultados sobre a metodologia MEI-U;
4. Análise dos resultados após a implementação de melhorias dos laboratórios *Living lab* e *Industry 4.0 lab*.

## REFERÊNCIAS

ABELE, E. et al. Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. **CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY**, v. 66, n. 2, p. 803–826, 2017.

ACOSTA, M. G. et al. Skills for the Fourth Industrial Revolution - A response to Industry 4.0 challenges. 2018.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - ABDI. **Indústria 4.0**, 2020. Disponível em: <https://hmgindustria40gov.abdi.com.br/wp-content/uploads/2021/04/Item-1.1.1-%E2%80%93Projeto-MCTI-CGEE-NT-Levantamento-de-informacoes.pdf>

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. **Engineering science and technology, an international journal**, v. 22, n. 3, p. 899-919, 2019.

ANDRES, M.; ALVARO, G.; JULIAN, M. Advantages of learning factories for production planning based on shop floor simulation: A step towards smart factories in industry 4.0. **EDUNINE 2019 - 3rd IEEE World Engineering Education Conference: Modern Educational Paradigms for Computer and Engineering Career, Proceedings**, 2019.

BAENA, F. et al. Learning Factory: The Path to Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 73–80, 2017.

BASSETO, Ana Laura Canassa et al. **Modelo de maturidade para a análise das indústrias no contexto da indústria 4.0**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BAUER, K. et al. Securing the future of German manufacturing industry - Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0 - Final report of the Industrie 4.0 Working Group. **ACATECH - National Academy of Science and Engineering**, n. April, p. 82, 2013.

BENEŠOVÁ, A.; TUPA, J. Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. June, p. 2195–2202, 2017.

CENTEA, D.; SINGH, I.; ELBESTAWI, M. SEPT Approaches for Education and Training using a Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 109–115, 2019.

CHEN, L.; CHEN, P.; LIN, Z. Artificial intelligence in education: A review. **IEEE Access**, v. 8, p. 75264-75278, 2020.

ELBESTAWI, M. et al. SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research. **Procedia manufacturing**, v. 23, p. 249-254, 2018.

EUROPEAN COMMISSION. High-tech leadership skills for Europe. n. March 2017, p. 132, 2017.

GIL, A. C. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, p. 44-45, 2002.

GARCIA, C. A. et al. An Approach of Training Virtual Environment for Teaching Electro-Pneumatic Systems. **IFAC – Papers OnLine**, v. 52, n. 9, p. 278–284, 2019.

GOTTBURGEN, A. et al. VDI-Studie Ingenieurausbildung für die Digitale Transformation. 2019.

GRØN, H. G.; LINDGREN, K.; NIELSEN, I. H. Presenting the UCN industrial playground for teaching and researching industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 196–201, 2020.

GRUBE, D.; MALIK, A. A.; BILBERG, A. SMEs can touch Industry 4.0 in the Smart Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 219–224, 2019.

GUALTIERI, L. et al. Advanced Automation for SMEs in the I4.0 Revolution: Engineering Education and Employees Training in the Smart Mini Factory Laboratory. **IEEE - International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, p. 1111–1115, 2019.

HASAN, M. Z.; MALLIK, A.; TSOU, J.-C. C. Learning method design for engineering students to be prepared for Industry 4.0: a Kaizen approach. **Higher Education, Skills and Work-based Learning**, v. 11, n. 1, p. 182–198, jan. 2020.

HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, M. et al. Competencies for Industry 4.0. **INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERACTIVE DESIGN AND MANUFACTURING - IJIDEM**, v. 14, n. 4, p. 1511–1524, 2020.

HINCAPIE, M. et al. Use of laboratory scenarios as a strategy to develop smart factories for Industry 4.0. **INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERACTIVE DESIGN AND MANUFACTURING - IJIDEM**, v. 14, n. 4, p. 1285–1304, 2020.

sem autor: IA APLICADA À INDÚSTRIA 4.0. **IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica**, 2021. Disponível em: <[https://www.ipt.br/noticia/1672-ia\\_aplicada\\_a\\_industria\\_40.htm](https://www.ipt.br/noticia/1672-ia_aplicada_a_industria_40.htm)>. Acesso em: 16 out. 2021.

KAMBAROV, M. M. IMPROVEMENT OF THE MODEL OF DEVELOPMENT OF CULTURE OF INDEPENDENT THINKING OF FUTURE TEACHERS. **Scientific Bulletin of Namangan State University**, v. 1, n. 12, p. 384-390, 2019.

KIPPER, L. M. et al. Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. **Technology in Society**, v. 64, p. 101454, 2021.

KOZAK, S. et al. Research and education for industry 4.0: Present development. **Proceedings of the 29th International Conference on Cybernetics and Informatics**. IEEE p. 1–8, 2018.

KUMAR, R. R. et al. A Machine Vision-based Cyber-Physical Production System for Energy Efficiency and Enhanced Teaching-Learning Using a Learning Factory. **Procedia CIRP**, v. 98, p. 424–429, 2021.

LANG, S. et al. Towards a modular, decentralized and digital industry 4.0 learning factory. **Proceedings - 2018 6th International Conference on Enterprise Systems, ES 2018**, p. 123–128, 2018.

LEAL, L. F.; FLEURY, A.; ZANCUL, E. Starting up a learning factory focused on industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 436–441, 2020.

LEE, J.; KAO, H.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8, 2014.

LEE, J.; DAVARI, H.; SINGH, J.; PANDHARE, V. Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing letters**, v. 18, p. 20-23, 2018.

LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GOTZSCHE, P. C.; LOANNIDIS, J. P.A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The PRISMA Statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Guidelines and Guidance*, v. 6, 2009.

LICHTBLAU, K. et al. **Industrie 4.0-Readiness**. Impuls-Stiftung, 2015.

LOZANO, C. V.; VIJAYAN, K. K. Literature review on cyber physical systems design. **Procedia Manufacturing**, v. 45, n. 2019, p. 295–300, 2020.

LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1–10, 2017.

MAVRIKIOS, D.; GEORGOULIAS, K.; CHRYSOLOURIS, G. The Teaching Factory Paradigm: Developments and Outlook. **Procedia Manufacturing**, v. 23, p. 1–6, 2018.

MAYER, B.; TANTSCHER, D.; BISCHOF, C. From Digital Shop floor to Real-Time Reporting: an IIoT Based Educational Use Case. **Procedia Manufacturing**, v. 45, n. 2019, p. 473–478, 2020.

Mendeley Desktop for Windows 12. Elsevier. Disponível em: <<https://www.mendeley.com/download-desktop-new/>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

MERZ, R.; HOCH, R.; DREXEL, D. A. Cloud-based research and learning factory for industrial production. **Procedia Manufacturing**, v. 45, n. 2019, p. 215–221, 2020.

MEI-U: METODOLOGIA DE ENSINO INOVADOR DA UNIVERSIDADE. Disponível em: <<http://www.mei-u.com.br/>>. Acesso em: 08 ago. 2021.

MIAN, S. H. et al. Adapting Universities for Sustainability Education in Industry 4.0: Channel of Challenges and Opportunities. **SUSTAINABILITY**, v. 12, n. 15, 2020.

MOURTZIS, D. et al. Cyber- Physical Systems and Education 4.0 -The Teaching Factory 4.0 Concept. **Procedia Manufacturing**, v. 23, n. 2017, p. 129–134, 2018.

MOURTZIS, D.; ANGELOPOULOS, J.; DIMITRAKOPOULOS, G. Design and development of a flexible manufacturing cell in the concept of learning factory paradigm for the education of generation 4.0 engineers. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 361-366, 2020.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, 2018.

PERES, R. S. et al. Industrial artificial intelligence in industry 4.0-systematic review, challenges and outlook. **IEEE Access**, v. 8, p. 220121-220139, 2020.

PROGRAD – Metodologia Transdisciplinar UTFPR MEI-U, 2020. Disponível em: <<http://www.mei-u.com.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173–178, 2016.

ROPIN, H.; PFLEGER-LANDTHALER, A.; IRSA, W. A FabLab as integrative part of a Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 355-360, 2020.

RÜßMANN, M. et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **The Boston Consulting Group**, v. 62, n. 4, p. 40–41, 2015.

SACKEY, S. M.; BESTER, A.; ADAMS, D. INDUSTRY 4.0 LEARNING FACTORY DIDACTIC DESIGN PARAMETERS FOR INDUSTRIAL ENGINEERING EDUCATION IN SOUTH AFRICA. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 1, p. 114–124, 2017.

SAUZA, J. et al. A Novel Approach for Teaching IT Tools within Learning Factories. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 175–181, 2017.



SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. Currency, 2017.

SPILLANE, D. R.; MENOLD, J.; PARKINSON, M. B. Broadening participation in learning factories through industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 534–539, 2020.

TAN, H. S. et al. Conceptual development of learning factory for industrial engineering education in Indonesia context as an enabler of students' competencies in industry 4.0 era. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 426, n. 1, p. 0–10, 2020.

TVENGE, N. et al. Added value of a virtual approach to simulation-based learning in a manufacturing learning factory. **Procedia CIRP**, v. 88, p. 36–41, 2020.

UMACHANDRAN, K. et al. Gearing up education towards Industry 4.0. **International Journal of Computers & Technology**, v. 17, n. 2, p. 7305–7311, 2018.

UTFPR - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2020. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/noticias/ponta-grossa/selecao-de-estudantes-para-as-disciplinas-engineering-design-process-e-industry-4.0>>. Acesso em: 05 jun. 2021.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 – A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233–238, 2018.

VIJAYAN, K. K.; MORRIS, O. J.; GISKE, L. A. L. Integration of a Case Study into Learning Factory for Future Research. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 258–263, 2019.

VOS Viewer - Visualizing scientific landscapes for Windows 12. Disponível em: <<https://www.vosviewer.com/>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

XU, L. DA; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.

YOSHINO, R. T. et al. Educational Test Bed 4.0: a teaching tool for Industry 4.0. **European Journal of Engineering Education**, v. 45, n. 6, p. 1002–1023, 1 nov. 2020.

ZHANG, X. et al. A reference system of smart manufacturing talent education (SMTE) in China. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 100, n. 9–12, p. 2701–2714, 2019.

WORLD ECONOMIC FORUM, **The Global Competitiveness Report 2017-2018**, 2018. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018>.