**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA
POLITÉCNICA**

MARCELO VINICIUS DI FAVARI GROTTI

**Classificação e processo de implantação de fábrica de aprendizagem voltada
para aspectos da Indústria 4.0: Estudo de caso Fábrica do Futuro 4.0 USP**

São Paulo
(2019)

MARCELO VINICIUS DI FAVARI GROTTI

**Classificação e processo de implantação de fábrica de aprendizagem voltada
para aspectos da Indústria 4.0: Estudo de caso Fábrica do Futuro 4.0 USP**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências.

Área de Concentração: Engenharia de
Produção

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Senzi
Zancul

São Paulo
(2019)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Grotti, Marcelo

Classificação e processo de implantação de fábrica de aprendizagem voltada para aspectos da Indústria 4.0: Estudo de caso Fábrica do Futuro 4.0 USP / M. Grotti -- versão corr. -- São Paulo, 2019.
183 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Indústria 4.0 2. Inovações na formação de engenheiros 3. Fábricas de aprendizagem I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

Ao meu filho Rafael e à minha esposa Luciana, com amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Luciana, por sua compreensão, companheirismo e imprescindível colaboração durante todo o período de estudos e preparação desta dissertação.

Ao meu filho Rafael, por ser minha motivação maior na contínua busca pelo crescimento pessoal e profissional.

À minha mãe, Bernardete, referência para minha dedicação à leitura e aos estudos desde a infância, e à minha irmã Flavia, pelo apoio e confiança ao longo da minha carreira e, principalmente, na reta final deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul, pelos conhecimentos adquiridos ao ser por ele introduzido no mundo acadêmico, pela oportunidade oferecida para a realização desta pesquisa, pelas orientações na condução da mesma com rigor e qualidade, e por acreditar que eu seria capaz de concluí-la.

Aos profissionais Marcia Regina da Silva, Eduardo Garcia Fontanez, Frank Heussinger, Romir Gustavo Ernlund Paulino e Eduardo Paes de Almeida por serem exemplos, cada um na sua profissão e atividade, de que não há limite para um profissional na busca pela excelência.

Aos amigos Julio César Nacimiento, Aurélio Batista Soares, Renato Azevedo de Amparo e Fernanda Rielli Rodrigues, pelo incentivo e colaboração antes e durante o curso de mestrado.

Ao colega de mestrado Luiz Fernando Cardoso dos Santos Durão, por seu apoio ao longo do curso e, principalmente, durante o período de realização da minha pesquisa.

A todos os professores das disciplinas cursadas, pelo aprendizado oferecido, e à secretária da Pós-Graduação Lúcia Nogueira da Silva, pelo apoio ao longo do curso.

Aos Professores Doutores Guilherme Canuto da Silva e Paulo Kaminski, pelas contribuições e orientações durante o exame de qualificação.

A todos aqueles que, na minha carreira profissional ao longo do curso, foram meus gestores e contribuíram para que eu pudesse conciliar as carreiras acadêmica e profissional.

“If you are going through hell, keep going.”

Winston Churchill

RESUMO

GROTTI, Marcelo Vinicius Di Favari. **Classificação e processo de implantação de fábrica de aprendizagem voltada para aspectos da Indústria 4.0: Estudo de caso Fábrica do Futuro 4.0 USP**. 2019. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Com o advento da Internet às indústrias, um novo cenário industrial conhecido como Indústria 4.0 ou Internet Industrial entra na agenda de pesquisa com potencial de ser entendido como uma nova revolução industrial. Impactos são tidos como certos no projeto, manufatura e na função do produto. Produtos inteligentes, dotados de identificação individualizada e cuja introdução envolve a geração, armazenamento, recuperação e uso de dados sobre os mesmos, estarão completamente integrados aos recursos de produção, levando ao estabelecimento dos *cyber-physical production systems* - *CPPS*, ou sistemas de produção físico-cibernéticos. A transição para o cenário industrial descrito demanda por qualificação dos profissionais envolvidos, por meio de estratégias adequadas de promoção do aprendizado.

A demanda por estratégias adequadas de promoção do aprendizado remete a outro tema atual na agenda de pesquisa, que é relacionado ao momento de transição da educação profissional de engenheiros na direção da introdução de inovações focadas em maior exposição dos alunos a atividades práticas, o mais próximo possível da realidade das indústrias. Dentre as inovações as Fábricas de Aprendizagem, conceito que de forma sucinta é definido a partir das duas palavras do termo, fábrica e aprendizagem, e que trata de instalações dotadas de elementos de ambos, destacam-se ao endereçar problemas de falta de habilidades práticas entre engenheiros recém-formados, com eficácia comprovada e documentação de casos bem-sucedidos de implantação na América do Norte e Europa.

Lacunas foram por esta dissertação de mestrado consideradas além das já abordadas demanda por qualificação de profissionais envolvidos com a Indústria 4.0, e do cenário de introdução de inovações na formação de engenheiros. Foram também consideradas a demanda por análise conjunta da literatura relacionada a abordagem sistêmica para desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem, e de classificação das mesmas, assim como chamada por documentação de casos práticos de implantação.

Esta dissertação de mestrado se insere, então, nas duas agendas de pesquisa mencionadas, ao realizar um estudo de caso de implantação de uma Fábrica de Aprendizagem, uma das inovações na formação de engenheiros, dedicada ao novo cenário industrial da Indústria 4.0. Três questões de pesquisa foram consideradas e estabeleceram um roteiro de classificação, descrição do processo de implantação e proposição de recomendações, roteiro este tomado como base para o estudo.

Partindo de uma revisão de literatura focada na exposição de características industriais se tornando realidade nas indústrias e no histórico de inovações na formação de engenheiros que deu origem ao conceito de Fábricas de Aprendizagem, foram estabelecidos os padrões de referência para a condução da pesquisa. O estudo de caso fez uso de três fontes de dados (entrevistas, análise de documentos e observação de eventos) e traz como resultados a exposição da classificação alcançada e a descrição do processo de implantação, em comparação aos padrões resultantes da revisão de literatura, complementados por recomendações direcionadas à aderência aos mesmos. Como resultados adicionais podem também serem citados a proposta de análise conjunta dos requisitos envolvidos com a abordagem sistêmica de implantação identificada na literatura, assim como o questionário de pesquisa derivado do mesmo.

A expectativa é de que os resultados contribuam com gestores, docentes e pesquisadores de instituições de ensino perseguindo inovações na formação de engenheiros e que estejam voltados para o desenvolvimento e implantação de instalações de Fábricas de Aprendizagem derivadas e/ou adaptadas a partir do modelo original.

Palavras-Chave: Indústria 4.0. Inovações na formação de engenheiros. Fábricas de Aprendizagem.

ABSTRACT

GROTTI, Marcelo Vinicius Di Favari. **Classification and implementation process of a learning factory focused on Industry 4.0 aspects: Case study Fábrica do Futuro 4.0 USP**. 2019. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

From the advent of Internet in the shop floor, a new industrial scenario known as Industry 4.0 or Industrial Internet enters in the research agenda with potential to be taken as a new industrial revolution. Impacts are taken for granted in the project, manufacturing and function of the products. Intelligent products, gifted with individual identification and whose introduction involves the generation, storage, retrieval and use of data about themselves, will be completely integrated to the manufacturing resources, leading to the establishment of the Cyber Physical Production Systems- CPPS. The transition for the described industrial scenario demands qualification of the involved professionals, by means of suitable strategies of learning promotion.

The demand for suitable strategies to promote learning refers to another current topic in the research agenda, which is related to the moment of transition of professional education of engineers towards the introduction of innovations focused on greater exposure of students to practical activities, the closest the reality of industries. Among the innovations, the Learning Factories, a concept that is succinctly defined from the two words of the term, factory and learning, and which deals with facilities with elements of both, stand out in addressing problems of lack of practical skills between newly trained engineers, with proven efficacy and documentation of successful deployment cases in North America and Europe.

Gaps were by this master's dissertation considered beyond to the already discussed demand for qualification of professionals involved with Industry 4.0, and of the scenario of introduction of innovations in the training of engineers. It also considered the demand for joint analysis of the literature related to the systematic approach to development of Learning Factories, and their classification, as well as the call for documentation of practical cases of implantation.

This dissertation is then part of the two research agendas mentioned above, when conducting a case study of the implantation of a Learning Factory, one of the innovations in the training of engineers, dedicated to the new industrial scenario of

Industry 4.0. Three research questions were considered and they established a script of classification, description of the implantation process and proposal of recommendations, script that was taken as basis for the study.

Starting from a literature review focused on the exposition of the industrial characteristics that are becoming a reality in the industries and the history of innovations in the training of engineers that gave rise to the concept of Learning Factories, the reference standards for conducting the research were established. The case study made use of three data sources (interviews, documents analysis and events observation) and brings as results the exposure of the classification achieved and the description of the implantation process, in comparison to the standards resulting from the literature review, complemented by recommendations leading towards to adherence to them. As additional results, the proposal of joint analysis of the requirements involved with the systemic approach of implantation identified in the literature, as well as the research questionnaire derived from it, can also be cited.

The expectation is that the results contribute to managers, teachers and researchers from educational institutions pursuing innovations in the training of engineers and that are also focused on the development and implantation of facilities of Learning Factories derived and / or adapted from the original model.

Keywords: Industry 4.0. Innovations on engineering education. Learning factories.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quadro Conceitual	27
Figura 2 - Estrutura da dissertação	29
Figura 3 - Relação entre o conceito, a realidade e a representação do produto	39
Figura 4 - Modelo tridimensional de classificação de produtos inteligentes	40
Figura 5 - Ciclo de vida tradicional do produto	44
Figura 6 - Comparação dos controles de manufatura convencionais e com auto identificação	48
Figura 7 - Níveis de Retenção da Pirâmide de Aprendizagem.....	56
Figura 8 - Distinção entre Fábricas de Aprendizagem no Sentido Estrito e Amplo ...	68
Figura 9 - Esquema de Classificação de Fábricas de Aprendizagem conforme Características de Adaptabilidade.....	71
Figura 10 - Trecho da tabela de decisão para classificação de Fábricas de Aprendizagem	72
Figura 11 - Tipologia de Fábricas de Aprendizado.....	72
Figura 12 - Tipologia de Fábricas de Aprendizagem.....	73
Figura 13 - Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem	76
Figura 14 - Fábrica de Aprendizagem como Link Faltante no Modelo Hélice Tripla ..	78
Figura 15 - Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem Aplicado ao Estudo.....	83
Figura 16 - Processo linear e iterativo de estudo de caso.....	87
Figura 17 - Tipos básicos de projeto para estudos de caso	90
Figura 18 - Visão geral do edifício InovaUSP e suas instalações	105
Figura 19 - Preparação das instalações.....	106
Figura 20 - Layout das instalações da Fábrica do Futuro 4.0 USP	106
Figura 21 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Modelo de Operação ...	109
Figura 22 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Objetivo e Metas.....	111
Figura 23 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Processo.....	113
Figura 24 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Configuração	114
Figura 25 - Produto da Fábrica do Futuro 4.0 USP	115
Figura 26 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Produto	116
Figura 27 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Didática.....	118
Figura 28 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Métricas	120
Figura 29 - Layout otimizado da Fábrica do Futuro 4.0 USP.....	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados estáticos e dados dinâmicos	41
Quadro 2 - Características de sistema industrial com o uso de produtos inteligentes	49
Quadro 3 - Lacunas de Competências em Manufatura de Graduados em Engenharia	52
Quadro 4 - Inventário de estilos de aprendizagem Felder-Silverman Learning Style Model	54
Quadro 5 - Morfologia de métodos de ensino	55
Quadro 6 - Sete Inovações na Formação de Engenheiros pesquisadas por Borrego, Froyd e Hall (2010).....	57
Quadro 7 - Comparação dos métodos tradicionais de ensino com Aprendizado Baseado em Problemas	64
Quadro 8 - Síntese da Literatura de Morfologia de Fábricas de Aprendizagem.....	74
Quadro 9 - Síntese da Literatura de Abordagem Sistêmica para o Desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem	77
Quadro 10 - Abordagem para desenvolvimento de produtos para Fábricas de Aprendizagem Adaptáveis	80
Quadro 11 - Síntese da Literatura de complementos ao Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem	82
Quadro 12 - Correspondência entre finalidade de pesquisa e metodologia.....	88
Quadro 13 - Plano de aspectos de validade e confiabilidade do estudo de caso.....	93
Quadro 14 - Conclusões dimensão Modelo de Operação.....	110
Quadro 15 - Conclusões dimensão Objetivo e Metas	112
Quadro 16 - Conclusões dimensão Processo	113
Quadro 17 - Conclusões dimensão Configuração.....	115
Quadro 18 - Conclusões dimensão Produto.....	116
Quadro 19 - Conclusões dimensão Didática	118
Quadro 20 - Conclusões dimensão Métricas.....	120
Quadro 21 - Descrição das etapas do processo da Fábrica do Futuro 4.0 USP	132
Quadro 22 - Relação de equipamentos disponibilizados com o investimento inicial	133

Quadro 23 - Relação de equipamentos disponibilizados posteriores ao investimento inicial133

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultados de pesquisa sobre tendências Indústria 4.0 - Desafios	19
Gráfico 2 - Resultados de pesquisa sobre tendências Indústria 4.0 - Medidas de suporte	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 NOVO CENÁRIO INDUSTRIAL	17
1.2 O ENSINO	20
1.2.1 Fábricas de Aprendizagem	22
1.3 LACUNAS DE CONHECIMENTO	23
1.4 OBJETIVOS	26
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	28
2 REVISÃO DA LITERATURA	31
2.1 INDÚSTRIA 4.0	32
2.1.1 Produtos inteligentes	36
2.1.2 Sistemas físico-cibernéticos e manufatura inteligente	45
2.2 INOVAÇÕES NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS	50
2.2.1 Aprendizado ativo	59
2.2.2 Aprendizado baseado em problemas	62
2.3 FÁBRICAS DE APRENDIZAGEM	65
2.3.1 Morfologia de Fábricas de Aprendizagem	70
2.3.2 Abordagem sistêmica para implantação de Fábricas de Aprendizagem	74
2.3.3 Complementos ao Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem	77
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	85
3.1 PLANO DO ESTUDO DE CASO	87
3.2 PROJETO DO ESTUDO DE CASO	89
3.3 PREPARAÇÃO PARA A COLETA DE EVIDÊNCIA DO ESTUDO DE CASO	93
3.4 COLETA DE EVIDÊNCIA DO ESTUDO DE CASO	99
3.5 ANÁLISE	102
3.6 COMPARTILHAMENTO	103
4 RESULTADOS E ANÁLISE	105
4.1 DESCRIÇÃO GERAL	105
4.2 CLASSIFICAÇÃO	107
4.2.1 Modelo de operação	107
4.2.2 Objetivo e metas	110
4.2.3 Processo	112

4.2.4 Configuração	114
4.2.5 Produto.....	115
4.2.6 Didática	117
4.2.7 Métricas.....	119
4.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO	120
4.3.1 Ambiente organizacional	121
4.3.2 Objetivos organizacionais	126
4.3.3 Público-Alvo	127
4.3.4 Competências pretendidas.....	127
4.3.5 Infraestrutura Sociotécnica.....	129
4.3.6 Infraestrutura didática.....	134
5 RECOMENDAÇÕES	137
5.1 DOCUMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA SOCIOTÉCNICA	137
5.2 MODELO DE NEGÓCIO	139
5.3 DOCUMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA DIDÁTICA	141
6 CONCLUSÃO.....	143
REFERÊNCIAS.....	147
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....	159
APÊNDICE B – MATRIZ DE RELAÇÃO QUESTIONÁRIO x BIBLIOGRAFIA.....	175
APÊNDICE C – FOLHA DE COLETA DE DADOS – ENTREVISTAS	179
APÊNDICE D – FOLHA DE COLETA DE DADOS – OBSERVAÇÕES.....	180
APÊNDICE E – FOLHA DE SUMÁRIO DE DADOS – ENTREVISTAS	181
APÊNDICE F – FOLHA DE SUMÁRIO DE DADOS – OBSERVAÇÕES.....	182
APÊNDICE G – FOLHA DE SUMÁRIO DE DADOS – DOCUMENTOS	183

1 INTRODUÇÃO

1.1 NOVO CENÁRIO INDUSTRIAL

A evolução na agenda de pesquisa, com a chegada da Internet às indústrias, traz contornos de uma nova revolução industrial ou, como mencionado em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), de um novo tipo de industrialização.

A indústria está no limiar da 4ª Revolução Industrial. Impulsionados pela Internet, os mundos real e virtual estão cada vez mais próximos para formar a Internet das Coisas. A produção industrial do futuro será caracterizada por uma forte individualização dos produtos sob condições de produção altamente flexíveis (grandes séries), integração extensiva de clientes e parceiros de negócios em negócios e processos de valor agregado, e a articulação entre a produção e os serviços de alta qualidade que conduzem aos chamados produtos híbridos. (MINISTRO FEDERAL DA EDUCAÇÃO E PESQUISA DA ALEMANHA, em MONOSTORI, 2014, p. 9, tradução nossa).

Krueger et al. (2014) destaca o tema como tópico principal de discussão em conferências e reuniões sobre produção e processos industriais. Annunziata e Biller (2015), que classificam o tema como sendo o futuro do trabalho devido ao potencial impacto na realidade de trabalhos das fábricas, o comparam com o poder de inovação tecnológica da 1ª Revolução Industrial. Fazem referência a significativas transformações na indústria com impacto no projeto e manufatura dos produtos, assim como na função dos mesmos. Também mencionam crescente tendência de adoção de sensores em máquinas industriais, com significativa elevação de suas possibilidades e consequente geração de dados.

A denominada 4ª Revolução Industrial, principalmente conhecida como Indústria 4.0 ou Internet Industrial, é iminente (SCHUH et al., 2014a), e marcada pela necessidade de remoção das barreiras entre o mundo da informação digital e o mundo físico (MEYER; FRÄMLING; HOLMSTRÖM, 2009). Segundo Monostori (2014), novos modos de comunicação homem-máquina devem ser alcançados no curso do estabelecimento dos sistemas de produção físico-cibernéticos.

A completa integração entre produtos inteligentes e os recursos inteligentes (SHEN et al., 2006) está na agenda atual de pesquisa. Conforme Meyer, Wortmann e Szirbik (2011), com os avanços da chamada Internet das Coisas e dos produtos inteligentes, esse cenário deve se concretizar em um futuro próximo no qual não apenas recursos

mas, também, todos os demais itens e equipamentos no chão de fábrica se tornarão inteligentes.

O caráter de novidade do assunto é reportado por Meyer, Främling e Holmström (2009), que consideram que o conceito de produtos inteligentes, diretamente envolvido com a chegada da Internet às indústrias, está ainda em evolução. Também é reportado por Salles et al. (2010), texto que considera que este conceito está apenas começando a emergir no ambiente fabril e que a pesquisa está apenas no início. Baína, Panetto e Morel (2009) expõem a necessidade de decisão quanto ao tipo de informação necessária para o produto, conhecimento incorporado e informações que devem ser retidas pelo mesmo. Também Kiritsis (2011) questiona quais os elementos de inteligência que devem ser associados ao produto. Em McFarlane et al. (2013), os autores questionam sobre qual de fato é o ambiente com o qual os produtos irão interagir.

Conforme reportado por Meyer, Främling e Holmström (2009), o cenário é de redução dos custos dos sistemas embarcados, o que resultará em mais produtos se tornando inteligentes. A adoção do conceito nas indústrias é esperada como uma evolução natural desse cenário. Adicionalmente, conforme Simons, Abé e Neser (2017), o conceito de produção customizada está rapidamente substituindo a produção em massa. Em Meyer, Främling e Holmström (2009), é afirmado que o foco da indústria se muda de direcionado para o fornecedor para direcionado para o consumidor, com os clientes sendo providos de maior poder de escolha e mais acirrada competição entre diferentes fornecedores. Segundo os autores, isso demanda das empresas redução dos ciclos de vida dos produtos e dos tempos de lançamentos dos mesmos ao mercado, maior variedade de oferta de produtos e atendimento instantâneo da demanda, mantendo a qualidade e reduzindo os custos de investimento. O foco no ambiente de negócios é, conforme Kiritsis (2004) apud Meyer, Främling e Holmström (2009), de inovação, de produtos que se diferenciam de outros sendo também acessíveis, confiáveis e lançados rapidamente ao mercado.

Em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), oito áreas são consideradas chave nas quais ações de pesquisa e desenvolvimento são demandadas para implementação com sucesso da 4ª Revolução Industrial, sendo elas:

1. Padronização e arquitetura de referência;
2. Gestão de sistemas complexos;
3. Compreensiva estrutura de banda larga para a indústria;

4. Proteção e segurança;
5. Projeto e organização do trabalho;
6. Treinamento e contínuo desenvolvimento profissional;
7. Quadro regulamentar;
8. Eficiência de recursos.

Dentre elas, as de número 1, 2, 5 e 8 abordam assuntos envolvidos com o cerne da grande área de Engenharia de Produção. A de número 6, ao abordar mudanças radicais nos perfis de trabalho e competências dos trabalhadores, estabelece a necessidade de implementação de estratégias de treinamento apropriadas. Ambos assuntos estão diretamente relacionados ao objeto de estudo desta dissertação de mestrado.

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) apresentam também uma declaração do Ministro alemão da Educação e Pesquisa na qual treinamentos baseados no ambiente de trabalho são considerados chave para a implementação da Indústria 4.0. Adicionalmente, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) trazem resultados de pesquisa conduzida em janeiro de 2013 com 278 empresas alemãs, sendo a maioria do setor de usinagem e instalações industriais, que indica que aspectos relacionados aos profissionais envolvidos na transição e sua qualificação figuram entre os principais desafios e medidas de suporte mencionadas como necessárias na Indústria 4.0, conforme destacados nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 - Resultados de pesquisa sobre tendências Indústria 4.0 - Desafios
Quais os principais desafios relacionados à implementação da Indústria 4.0?

Fonte: Adaptado de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) , tradução nossa.

Gráfico 2 - Resultados de pesquisa sobre tendências Indústria 4.0 - Medidas de suporte

Quais medidas de suporte você gostaria que lhe ajudassem com a implementação da Indústria 4.0

Fonte: Adaptado de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) , tradução nossa.

Ao abordar o novo cenário industrial e de organização do trabalho no qual os funcionários atuais e futuros das empresas farão parte, assim como ao definir que os mesmos estarão envolvidos e serão componentes-chave desde as etapas iniciais da implementação e assimilação de novas tecnologias, fica evidente em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) que haverá demanda por funcionários qualificados. Baïna, Panetto e Morel (2009) indicam também que os engenheiros envolvidos precisarão de ferramentas e métodos adaptados a auxiliá-los no novo cenário. Explicitamente, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) relacionam a implementação da Indústria 4.0 a desafios para treinamento vocacional, acadêmico e para desenvolvimento profissional contínuo, principalmente dos envolvidos com o desenvolvimento de componentes de engenharia de manufatura, assim como dos usuários, aderente à grande área de Engenharia de Produção na qual se insere esta dissertação de mestrado.

1.2 O ENSINO

Educação profissional idealmente deve refletir a prática se ela intenciona a preparar futuros profissionais. Como a sociedade lida com mudanças políticas, sociais, econômicas, tecnológicas; prática profissional e educação profissional frequentemente são redefinidas e reformuladas para atender às necessidades da sociedade. Engenharia não é uma exceção. (SHEPPARD et al., 2006, p. 430, tradução nossa).

Em Cachay, Wennemer e Abele (2012), os autores ressaltam a importância que o desenvolvimento de competências relacionadas à produção pelas universidades de

engenharia de manufatura atuais, caso do objeto de estudo desta dissertação de mestrado, têm para o sucesso das empresas.

A falta de experiência em processos de manufatura entre engenheiros recém-formados têm sido uma deficiência identificada pela indústria (LAMANCUSA, J.S., JORGENSEN, J.E., ZAYAS-CASTRO, 1997; LAMANCUSA et al., 2008; SSEMAKULA; LIAO; ELLIS, 2010).

Assim como alguém não consegue aprender a dirigir sem ir para trás do volante; ou nadar sem se molhar; entrar na profissão de engenharia, particularmente na área de projetos, requer mais do que apenas sentar em uma sala de aula. (LAMANCUSA, J.S., JORGENSEN, J.E., ZAYAS-CASTRO, 1997, p. 103-104, tradução nossa).

A ênfase na formação de engenheiros anterior à década de 1950 por universidades norte-americanas era fundamentalmente prática e dedicada à imediata utilização dos graduados pela indústria. Lamancusa et al. (2008) relata, em adição aos fundamentos de física e cálculo, aquisição de conhecimentos em pranchetas de desenho, chão de fábrica e laboratórios, além de visitas a fábricas, indústrias químicas e usinas de energia. Consideram que o desenvolvimento da compreensão do comportamento de sistemas e máquinas era beneficiado por essas práticas. Segundo eles, a transição para as atuais práticas, questionadas pela indústria e objeto de esforços voltados para a inovação, têm como marcos a publicação do Relatório *Grinter* sobre avaliação de educação de engenheiros (GRINTER, 1955, apud LAMANCUSA et al., 2008) e o lançamento do satélite artificial Sputnik em 1957.

Nos anos seguintes, os cursos tornaram-se mais abstratos, com a ênfase em cálculos e em ciências prevalecendo sobre aspectos práticos. Um aumento nas verbas do governo norte-americano destinadas a pesquisas colaborou para a conversão de oficinas em programas de pesquisa ou laboratórios de informática. Estudantes passaram a praticar menos engenharia, com educação baseada em aulas e laboratórios de participação passiva, incorrendo no erro de sobrecarregar os estudantes com um volume excessivo de informações de forma superficial (LAMANCUSA et al., 2008).

O cenário atual é de tentativa de reversão e inovação da educação dos engenheiros, buscando maior equiparação entre ciência de engenharia e a prática da mesma (LAMANCUSA et al., 2008). Entre as motivações, destaca-se o desejo dos estudantes de “fazerem” engenharia, e mudanças demandadas pela indústria em resposta às

deficiências identificadas pela mesma. Incentivos para a mudança de associações ligadas à profissão de engenharia (por exemplo, *NSF-National Science Foundation*; e *NAE-National Academy of Engineering*), assim como a formação de iniciativas de trabalho como a *EFTA-Engineer for the Americas* (LAMANCUSA et al., 2008), são também motivações para a inovação na educação de engenheiros.

Inovações na formação de engenheiros entraram então, também, na agenda de pesquisa. Em Borrego, Froyd e Hall (2010), o nível de conhecimento e de adoção de sete inovações na educação de engenheiros, identificadas pelos autores a partir de revisão de literatura e adotadas para o trabalho conforme critérios estabelecidos, foi avaliada por pesquisa com chefes de departamentos de engenharia de universidades. Em comum entre as inovações pesquisadas, destaca-se o caráter das mesmas voltado para a prática de engenharia. Um aspecto fundamental da introdução das inovações é a mudança do foco no ensino para o foco na aprendizagem, com a tarefa dos professores mudando de transferir conhecimentos para facilitar a aprendizagem (KOLMOS, 1996).

1.2.1 Fábricas de Aprendizagem

Alguns esforços pioneiros no desenvolvimento e aplicação de Fábricas de Aprendizagem foram agraciados em 2006 pela Academia Nacional de Engenharia Americana com um prêmio por inovação no ensino de engenharia e tecnologia (LAMANCUSA et al., 2008). A abordagem premiada é derivada dos esforços para inovações na formação de engenheiros, e o caminho até o prêmio envolve o histórico de ensino e aspectos de sua evolução e transição para as práticas sendo atualmente perseguidas pelas instituições de ensino superior (KREIMEIER et al., 2014), ou com adoção sugerida (SSEMAKULA; LIAO; ELLIS, 2010).

Conforme Ziemian e Sharma (2008), o uso proposto para Fábricas de Aprendizagem seria ao longo do currículo e se assemelharia ao uso de uma biblioteca. A eficácia da abordagem foi comprovada para três universidades precursoras nos EUA, que são *Pennsylvania State University*, *University of Puerto Rico-Mayagues* e *University of Washington* (LAMANCUSA et al., 2008), com relato de que o modelo tem sido adaptado e implementado em outras universidades (ZIEMIAN; SHARMA, 2008). Na Europa, há ampla documentação de esforços de muitos anos no estabelecimento de Fábricas de Ensino (ABELE et al., 2015, 2017; TISCH et al., 2013).

Há literatura sobre comprovação de eficácia da abordagem (JAEGER et al., 2013; SSEMAKULA; LIAO; ELLIS, 2010; TISCH et al., 2013). Ssemakula, Liao e Ellis (2010), em texto dedicado a avaliar a eficácia da abordagem, sugerem que ela seja adotada por outras instituições, assim como o faz Veza, Gjedum e Mladineo (2015).

Equívocos na adoção de Fábricas de Aprendizagem são reportados na literatura (ENKE; GLASS; METTERNICH, 2017; TISCH et al., 2013, 2016; WAGNER et al., 2012). Em Wagner et al. (2012), os autores relatam que o custo de implementação e de operação das mesmas é motivo por não haverem Fábricas de Aprendizagem em países em desenvolvimento, mas que variações simplificadas e limitadas estão em uso com bons resultados quanto à educação, pesquisa e desenvolvimento industrial. São disponíveis na literatura e relacionados na Seção 1.3 textos com propostas de abordagem sistêmica para o desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem e de classificação das mesmas, assim como textos que os complementam tratando de temas específicos.

Considerando-se as tendências internacionais de modernização do ensino de engenharia e as potencialidades de Fábricas de Aprendizagem, iniciou-se o projeto e implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP, que é o objeto de estudo desta pesquisa de mestrado.

1.3 LACUNAS DE CONHECIMENTO

Ao tratar de uma das oito áreas de ação prioritárias para a Indústria 4.0, que especifica quanto ao treinamento e desenvolvimento profissional contínuo, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) expõem a necessidade de estreita convergência entre treinamentos de tecnologia da informação e engenharia de produção. Segundo esses autores, conteúdo de treinamento relevante específico para a Indústria 4.0 deve ser identificado e as abordagens didáticas e metodológicas apropriadas necessitarão ser desenvolvidas. Como ponto-chave, mencionam que será fundamental desenvolver a educação profissional para adultos, especificamente quanto aos métodos de ensino e perfis de carreiras. Levando em consideração que diferentes alunos têm diferentes requisitos, novos métodos de ensino e sistemas de assistência ao aprendizado deverão, segundo eles, serem desenvolvidos.

A necessidade de qualificação dos profissionais envolvidos na transição, os quais serão envolvidos desde os primeiros estágios da mesma e impactados pelas novas

estruturas de trabalho, é reforçada pela declaração do Ministro da Educação e Pesquisa da Alemanha e nos resultados de pesquisa sobre as tendências para a Indústria 4.0, relatados na Seção 1.1 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Também conforme já mencionado na Seção 1.1, a implementação envolve desafios para treinamento vocacional, acadêmico e para desenvolvimento profissional contínuo (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013), e qualificações, no formato de ferramentas e métodos adaptados, serão necessárias para auxílio aos engenheiros envolvidos (BAÍNA; PANETTO; MOREL, 2009).

A consideração de lacunas quanto a aspectos de qualificação é complementada pela falta de experiência em processos de manufatura entre engenheiros recém-formados, identificada pela indústria e classificada por Jaeger et al. (2013) como discrepâncias entre educação profissional e competências necessárias no ambiente de trabalho não endereçadas no currículo acadêmico. Adicionalmente, a consideração das lacunas é também complementada pelo cenário de inovação na educação de engenheiros.

São disponíveis na literatura textos com propostas de abordagem sistêmica para o desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem (TISCH et al., 2013, 2016) e de classificação das mesmas (ABELE et al., 2015, 2017; SCHUH et al., 2017; TISCH et al., 2013, 2015). Esses textos são complementados por outros textos que tratam de temas específicos, como desenvolvimento de produtos para Fábricas de Aprendizagem (ELMARAGHY et al., 2017; WAGNER et al., 2014b, 2014a) e configuração da infraestrutura sociotécnica (TISCH et al., 2017; WAGNER et al., 2012), cooperação e parcerias (VEZA; GJELDUM; MLADINEO, 2015; WEEBER et al., 2016), desdobramento de competências (ENKE; KRAFT; METTERNICH, 2015; MÜLLER-FROMMEYER et al., 2017; TISCH et al., 2016), e identificação de requisitos de *Stakeholders* (ENKE; TISCH; METTERNICH, 2016).

Em Tisch et al. (2013), os autores declaram que o estudo documentado no mesmo, posteriormente evoluído em Tisch et al. (2016), é planejado para ser estendido pela utilização do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem na prática, no planejamento e uso de novas instalações. Além disso, os autores expõem um problema das Fábricas de Aprendizagem atuais quanto a terem sido desenvolvidas por especialistas técnicos, sem cuidados quanto aos métodos didáticos empregados, e sem aplicação de uma abordagem estruturada no desenvolvimento.

O trabalho de Jaeger et al. (2013) abordou a seguinte questão para o caso estudado:

Como pode uma Fábrica de Aprendizagem e seu curso de ensino correlato serem implementados de forma sistemática usando conhecimento e tecnologia adequados de forma a permitir a melhor possível transferência para possíveis campos de aplicação? (JAEGER et al., 2013, p. 27, tradução nossa).

Como futura linha de pesquisa, é sugerido em Borrego, Froyd e Hall (2010) investigação aprofundada, em pequeno número de organizações (por exemplo, amostras de departamentos ou faculdades de engenharia), das complexas relações entre docentes e administradores na tomada de decisões para a adoção de Fábricas de Aprendizagem.

A consideração de Wagner et al. (2012) quanto à aplicação de variações simplificadas e limitadas (devido ao alto custo de implementação e operação) em uso em países em desenvolvimento com bons resultados quanto à educação, pesquisa e desenvolvimento industrial, foi também interpretada como uma potencial lacuna para documentação de caso prático, assim como a estreita ligação entre Fábricas de Aprendizagem e inovações identificada por Abele et al. (2015), por ser o objeto de estudo desta dissertação de mestrado voltada para inovações na manufatura.

Uma síntese das lacunas de conhecimento identificadas por esta dissertação de mestrado é relacionada abaixo:

1. Demanda por treinamento voltado para a indústria 4.0, com desenvolvimento didático agregado (BAÏNA; PANETTO; MOREL, 2009; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013);
2. Histórica discrepância entre educação profissional e competências necessárias no ambiente de trabalho não endereçadas no currículo acadêmico (JAEGER et al., 2013);
3. Cenário voltado para inovações na formação de engenheiros (LAMANCUSA et al., 2008);
4. Demanda por análise conjunta dos textos que trazem requisitos relacionados a abordagem sistêmica para desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem e classificação das mesmas, somado ao questionamento declarado quanto a essa abordagem (ABELE et al., 2015, 2017; ELMARAGHY et al., 2017; ENKE; KRAFT; METTERNICH, 2015; ENKE; TISCH; METTERNICH, 2016; JAEGER et al., 2013; MAVRIKIOS et al., 2017; MÜLLER-FROMMEYER et al., 2017; SCHUH et al., 2017; TISCH et al., 2015, 2016, 2017, 2013; VEZA; GJELDUM; MLADINEO, 2015;

WAGNER et al., 2012, 2014b, 2014a; WEEBER et al., 2016; ZIEMIAN; SHARMA, 2008);

5. Cham

ada por documentação de casos práticos de implantação de Fábricas de Aprendizagem, com atenção ao cuidado didático agregado ao processo, às relações entre docentes e administradores envolvidos na implantação, assim como à aplicação de variações simplificadas e limitadas (BORREGO; FROYD; HALL, 2010; JAEGER et al., 2013; TISCH et al., 2013, 2016; WAGNER et al., 2012).

1.4 OBJETIVOS

Com base na proposta de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP, sendo desenvolvida de encontro ao novo cenário industrial de evolução tecnológica em ambientes de manufatura, esta dissertação de mestrado é direcionada por objetivos de classificação, descrição e análise de seu processo de implantação, e estabelecimento de recomendações, se propondo assim a investigar respostas às seguintes questões:

1. Como pode a Fábrica do Futuro 4.0 USP ser classificada de acordo com a literatura de classificação de Fábricas de Aprendizagem?
2. Como de fato foi o processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP, em comparação à abordagem sistêmica estabelecida a partir da revisão de literatura?
3. Como, a partir de recomendações advindas da análise do caso prático, pode a classificação e o processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP serem aperfeiçoados e/ou direcionados para a melhoria, com base na literatura sobre Fábricas de Aprendizagem?

O quadro conceitual da Figura 1, preparado com base em Miles e Huberman (1994), ilustra a relação entre os aspectos apresentados nesta Seção 1 Introdução, com posicionamento das questões de pesquisa.

Figura 1 - Quadro Conceitual

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta dissertação de mestrado busca contribuir com a literatura no formato de documentação de experiência prática que possa ser de valor a outras instituições quando em processo de implantação de estrutura de Fábrica de Aprendizagem, assim como documentação da análise conjunta dos requisitos envolvidos com a abordagem sistêmica de implantação identificada na literatura, e questionário resultante da análise. Beneficiários dos resultados deste trabalho podem ser gestores, docentes e pesquisadores de instituições de ensino perseguindo inovações na formação de engenheiros e voltados para o desenvolvimento e implantação de estruturas de Fábricas de Aprendizagem derivadas e/ou adaptadas a partir do modelo original. A própria gestão e estrutura da Fábrica do Futuro 4.0 USP também pode se beneficiar desta análise crítica, que pode servir para direcionar correções de rumo e melhorias na sua implementação.

O objetivo e as questões de pesquisa foram conduzidos por meio de revisão de literatura e estudo de caso de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1-Introdução consiste da exposição de cenários e motivações para a pesquisa, seguido de identificação de lacunas de conhecimento e definição de objetivo e questões de pesquisa.

O Capítulo 2 - Revisão de Literatura expõe conceitos relacionados a inovações tecnológicas nas indústrias no contexto da Indústria 4.0, assunto motivador da implantação da Fábrica de Aprendizagem do caso estudado, e conceitos relacionados a inovações na formação de engenheiros e Fábricas de Aprendizagem, concluindo com aspectos de abordagem sistêmica para implantação das mesmas e requisitos para classificação.

No Capítulo 3 - Metodologia é apresentado o método adotado para o trabalho, e as práticas aplicadas a esta dissertação de mestrado.

O Capítulo 4 - Estudo do caso apresenta os resultados e análise do estudo de caso, com proposição de recomendações no Capítulo 5.

A conclusão do trabalho e sugestão de futuras pesquisas é apresentada no Capítulo 6. A estrutura desta dissertação é ilustrada na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura da dissertação

Fonte: Elaborada pelo autor.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Dedicada à revisão da literatura relacionada aos tópicos de interesse, de forma a identificar o conhecimento existente sobre os temas e estabelecer o ponto de partida para a pesquisa, este Capítulo inicia-se com a definição do método aplicado nas buscas por documentos relevantes.

As buscas nas bases de dados foram realizadas com base nos seguintes strings: “*Industry 4.0*” ou “*Industrial Internet*”; “*Industry 4.0*” e “*Industrial Internet*”; “*Smart Products*” ou “*Intelligent Products*”; “*Smart Products*” e “*Intelligent Products*”; “*Learning Factory*” ou “*Learning Factories*”; “*Engineering education innovation*”; “*Demonstration factory*” ou “*Demonstration factories*”.

De forma a evitar a limitação de resultados à uma base de dados única, assim como para enriquecer o resultado do estudo, duas bases de dados foram adotadas para a pesquisa: a base ISI Web of Science e a base Scopus. A base ISI Web of Science foi adotada por seu retorno quanto a artigos publicados em periódicos indexados com fator de impacto calculado. A base Scopus foi adotada por oferecer uma maior abrangência quanto ao retorno de documentos, de forma a possibilitar o aumento da amostra de documentos avaliados.

As buscas não tiveram limitação por período, e foram limitadas por tipo a artigos, artigos em publicações e revisões. Especificamente nos filtros relacionados às Seções 2.2 e 2.3 do sumário, foram também considerados *proceedings papers*, por identificação da realização de relevantes conferências específicas sobre *Learning Factories*. O total de textos retornados foi avaliado e primeiramente passou por identificação de textos repetidos entre as bases e diferentes buscas. Em seguida, passou por análise de resumo, com exclusão de documentos por não aderência ao assunto da pesquisa, ou por indisponibilidade de resumo para avaliação. Posterior classificação quanto ao relacionamento total ou parcial do texto em relação ao assunto tratado foi feita para efeito de priorização dos documentos a serem efetivamente considerados, em razão do elevado volume de documentos retornados. Outros documentos tiveram posterior adição às referências bibliográficas consideradas no trabalho por identificação de citações relevantes em textos considerados.

2.1 INDÚSTRIA 4.0

Essa seção da revisão de literatura é direcionada pelo movimento de inovação tecnológica proporcionado pela chegada da Internet às indústrias, e por isso intitulada e guiada por uma das principais nomenclaturas pelas quais o movimento é conhecido: “Industrial Internet”. Uma segunda e importante nomenclatura, “Indústria 4.0”, foi identificada e inserida nas palavras chave que regeram as buscas nas bases de dados, conforme relatado no início do Capítulo 2. A seção tem por objetivo introduzir um dos assuntos motivadores para implantação da Fábrica de Aprendizagem, objeto de estudo desta dissertação de mestrado, diretamente relacionado às lacunas de números 1 e 2 documentadas na Seção 1.3, de forma a expor o cenário em que futuros engenheiros graduados em Engenharia de Produção desenvolverão suas carreiras e, para tal, necessitarão de conhecimentos práticos.

Em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), os autores estimam por volta de 90% dos atuais processos industriais de manufatura já suportados por tecnologias da informação e comunicação, chamadas em Kiritsis (2011) de “*information and related emerging technologies*”. Como os assuntos Indústria 4.0, produtos inteligentes, suas aplicações e benefícios na indústria, passarão da teoria à prática nas indústrias através do campo de conhecimento dessas tecnologias, boa parte da literatura disponível tem origem e encontra-se publicada em periódicos dedicados a Ciências da Computação, Engenharia de Software, Engenharia de Sistemas, Engenharia de Dados, e áreas afins. Essa característica é também manifestada quanto ao conteúdo dos documentos, em grande parte dedicado às tecnologias de base, barreiras tecnológicas e infraestrutura envolvidas em tornar a Indústria 4.0 uma realidade viável. A característica presença das tecnologias de base nos documentos relacionados à Indústria 4.0 é tão forte que chega a fazer com que, em documento dedicado a pesquisar aspectos de tecnologias da informação e comunicação relacionados à Indústria 4.0 (ZHAN et al., 2015), a Indústria 4.0 é mencionada em segundo plano como apenas uma das áreas beneficiadas pela computação em nuvem.

Outra característica marcante com relação à literatura disponível se dá em razão do caráter de novidade do assunto (MEYER; FRÄMLING; HOLMSTRÖM, 2009; SALLEZ et al., 2010). Pesquisas publicadas são de caráter teórico-conceitual, com características de introdução ao assunto. Definições e conceitos são apresentados como ainda em evolução. Por exemplo, a primeira tentativa de produtos inteligentes é

reportada no contexto de pós-vendas em texto pioneiro quanto ao uso de tecnologia da informação para gestão do ciclo de vida do produto (IVES; VITALE, 1988). No resumo de McFarlane et al. (2003), o autor menciona estar criando a especificação do conceito de produtos inteligentes na manufatura. A evolução da pesquisa acadêmica no assunto foi abordada de forma breve em Främling et al. (2013), com revisão dos trabalhos já realizados e identificação de lacunas de pesquisa. Pesquisa comparativa também foi identificada, focada na avaliação de diferentes abordagens para alcançar a identificação individual de produtos (FRÄMLING et al., 2007).

Indústria 4.0, do alemão *Industrie 4.0* (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013) e nomeada como uma reminiscência de versão de software (LASI et al., 2014), é a versão alemã do movimento de inovação tecnológica por eles nomeado como 4ª Revolução Industrial e considerado uma iniciativa estratégica daquele país. O relatório técnico de recomendação para implementação da mesma é fonte das principais definições e conceitos, descrições de cenários e próximos importantes passos para a concretização da sua arquitetura de referência (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Esse texto de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), tratado por Posada et al. (2015, p. 27, tradução nossa) como “[...] documento de referência chave [...]” e origem da explicação que a introdução da Internet das Coisas e Serviços e os sistemas físico-ciberneticos são centrais para a Indústria 4.0, foi identificado e citado também por outros textos (GORECKY; KHAMIS; MURA, 2015; SCHLECHTENDAHL et al., 2014). Há textos (FORD, 2015; LASI et al., 2014; LEE; KAO; YANG, 2014) que não citam diretamente o relatório, mas fazem menção ao fomento do governo alemão ao movimento de inovação tecnológica recente da indústria.

Ao discutir em seu documento se o conceito Indústria 4.0 é uma tendência ou apenas uma campanha de marketing, se é um acerto ou exagero, questionando assim o potencial de Indústria 4.0 em ser realmente a 4ª Revolução Industrial, Drath e Horch (2014) acrescentam que o termo foi primeiramente introduzido na Feira Industrial de Hannover de 2011 (*Hannover Messe 2011*) e, referindo-se ao mesmo como a 4ª Revolução Industrial, afirmam que é geralmente entendido como a aplicação do conceito genérico dos sistemas físico-ciberneticos aos sistemas de produção industriais. Em Event et al. (2015), texto baseado na opinião de especialistas da área de planejamento de meios de manufatura, o conceito Indústria 4.0 é descrito com foco em rápida transformação da indústria e integração do mundo virtual da tecnologia da informação, do mundo físico das máquinas e da Internet. Descrito como diferentes

mudanças nos sistemas de manufatura (e primeiramente direcionadas para tecnologia da informação) em Lasi et al. (2014), os autores adicionam que esses desenvolvimentos não apenas têm implicações tecnológicas, mas também organizacionais, como extensamente descrito em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013).

Paralelamente, o movimento de inovação tecnológica é também conhecido como Internet Industrial, termo introduzido, como mencionado por Posada et al. (2015) e por Drath e Horch (2014), pelo fabricante de equipamentos norte americano *General Electric*. Originado em Evans e Annunziata (2012), documento também considerado como ponto de partida e referência para pesquisa no tópico, o termo é descrito como “A fusão do sistema industrial global tornado possível como resultado da Revolução Industrial, com os sistemas abertos de computação e comunicação desenvolvidos como parte da Revolução da Internet [...]” (EVANS; ANNUNZIATA, 2012, p. 9, tradução nossa).

Ao tratar de proposta de tecnologias de informação e de comunicação relacionada a arquitetura de Internet das Coisas, para atender aos padrões industriais relacionados a Internet Industrial, Palattella et al. (2013) definem o termo com foco em viabilidade comercial e leituras de dados captadas por sensores físicos sendo direcionadas para a Internet, porém adicionando nova particularidade de nomenclatura. Nesse texto e em outros (DUJOVNE et al., 2014; EVENT et al., 2015; FORD, 2015; GORBACH; POLSONETTI, 2015; ROBERT, A., HOSKE, 2014; STOREY, 2014; TIAN et al., 2015; WANG et al., 2013; YU, 2014), mas diferentemente da nomenclatura originada na *General Electric*, o termo é citado como *Industrial Internet of Things*, sigla IIoT, ou como a aplicação de Internet das Coisas aos sistemas de automação industrial, criando a sigla I2oT. A nomenclatura de Internet Industrial, como originada na *General Electric*, foi identificada citada em, por exemplo, Chang et al. (2015), Mishra, Lin e Chang (2014) e Cooksley (2014).

A relação entre Indústria 4.0 e as revoluções industriais é também presente na literatura. Na definição de revoluções industriais de Lasi et al. (2014), o autor fala em saltos tecnológicos e mudanças de paradigmas. A abrangência do assunto de definições, nomenclaturas e terminologias na literatura envolvida com o movimento de inovação tecnológica passa por esse conceito e pelo título comumente atribuído ao mesmo de 4ª Revolução Industrial. Assim nomeado no principal documento relacionado ao termo Indústria 4.0 (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013), é

também mencionado como tal em diversos outros documentos, tanto de origem alemã (BLANCHET et al., 2014; KRUEGER et al., 2014; SCHUH et al., 2014b), como de origem de outros países (HOSKE, 2015; LEE; KAO; YANG, 2014; MONOSTORI, 2014). Comum entre eles é também a inclusão de descrições e ilustrações das quatro Revoluções Industriais, com pouca variação à sequência definida em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013).

A classificação como 4ª Revolução Industrial não é unanimidade, encontrando exceções em documentos com opiniões de especialistas da fabricante de equipamentos norte americana *General Electric*. Em Carpenter (2013), o autor classifica Internet Industrial como a 3ª Revolução da Internet, e faz uma descrição de cada uma das três revoluções, sendo a 1ª Revolução da Internet caracterizada pela interação dos consumidores com a rede em busca de informações, a 2ª caracterizada pelo estabelecimento de negócios e comércio eletrônico, sendo a 3ª a Internet Industrial propriamente dita.

Em Evans e Annunziata (2012), único texto a tratar do assunto como Ondas de Inovação e não mais como revoluções industriais, a revolução industrial e a introdução das máquinas e fábricas como um todo, impulsionando a economia de escala, é classificada como sendo a onda 1; a revolução da Internet, poder da computação e ascensão das redes de informação são classificadas como a onda 2; e a Internet Industrial é classificada como a onda 3.

Potenciais benefícios da Indústria 4.0 são também explorados na literatura. De forma genérica, McFarlane et al. (2003) afirmam que, a longo prazo, a identificação automatizada auxiliaria na rápida customização de produtos e no desenvolvimento de produção auto organizada, e de sistemas de distribuição e de inventário. Em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), desafios globais e nacionais são por eles entendidos como endereçados e beneficiados pela Indústria 4.0, como por exemplo eficiência no uso de recursos e de energia e a tratativa de mudanças demográficas que já acarretam na falta de mão de obra habilitada em certas profissões.

Ao diretamente abordar o potencial da Indústria 4.0, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) listam e detalham oito benefícios específicos:

- Atendimento a requisitos específicos de clientes;
- Flexibilidade;
- Tomada de decisão otimizada;
- Produtividade e eficiência no uso de recursos;

- Criação de oportunidades de valor por meio de novos serviços;
- Resposta a mudanças demográficas no ambiente de trabalho;
- Balanceamento trabalho – vida pessoal;
- Uma economia baseada em altos salários, mas ainda competitiva.

Detalhadamente, ao abordarem benefícios específicos relacionados a sistemas de produção e à realização do produto, Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) citam customização e consideração de requisitos de clientes ao longo de todo o ciclo de vida do produto, manufatura rentável de itens singulares, flexibilidade para atendimento a mudanças de última hora e tratativa de falhas na manufatura, e promoção de ganhos de produtividade e eficiência. A questão social e de benefícios resultantes da Indústria 4.0 aos funcionários é também bem explorada ao longo do texto, sendo citadas novas estruturas sociais no ambiente de trabalho e novas possibilidades empregatícias, assim como o impacto positivo com relação a envelhecimento da população alemã e à relação trabalho-vida pessoal.

A revisão de literatura sobre a Indústria 4.0 prossegue com detalhamento de dois assuntos específicos julgados de relevância para a completa conceituação do assunto a ser tratado neste trabalho de pesquisa. Assim, nas subseções 2.1.1 e 2.1.2 são abordados Produtos Inteligentes, Sistemas Físico-Cibernéticos e Manufatura Inteligente.

2.1.1 Produtos inteligentes

Conforme discutido na Seção anterior, o cenário é de inovação tecnológica visando grandes e relevantes transformações nas empresas e sistemas de manufatura como os conhecemos atualmente. Em McFarlane et al. (2013), prover aos clientes com a oportunidade de informar e influenciar o fornecimento de seus pedidos é colocado como uma clara motivação para a introdução de abordagem baseada em produtos inteligentes. Adicionalmente, esses autores mencionam como motivação a incompatibilidade bastante comum entre o fluxo de material e de informações na fabricação, e especialmente nas cadeias de fornecimento, assim como o fato de que os tradicionais suportes de decisão e sistemas de controles centralizados podem geralmente serem complexos e podem não funcionarem bem devido à agregação.

Em Meyer, Främling e Holmström (2009), a aplicação de produtos inteligentes em um contexto de pós vendas e de prestação de serviços tratada em Ives e Vitale (1988) é

mencionada como aparentemente a primeira discussão de produtos inteligentes. Também em Meyer, Främling e Holmström (2009), além de fazer referência aos primeiros usos de auto identificação no início da década de 70, os autores fazem referência à entrada dos produtos inteligentes no ambiente de manufatura e de controle de cadeias de fornecimento, conforme McFARLANE et al. (2003).

McFarlane et al. (2013) relaciona a introdução de inteligência nos produtos ao ano de 2002 e a duas principais frentes de trabalho de pesquisa: 1. Apresentação por diversos autores de uma visão alternativa de como cadeias de fornecimento deveriam funcionar; e 2. Operações de cadeia de fornecimento em que peças, produtos e pedidos poderiam monitorar e influenciar seu próprio progresso ao longo da cadeia de fornecimento.

Baïna, Panetto e Morel (2009) afirmam que a denominação produtos inteligentes foi regularmente utilizada na década anterior ao trabalho deles, em sistemas de manufatura, para indicar produtos equipados com tecnologias que permitem a eles desenvolver certas capacidades, como se comunicar com o ambiente, reter ou armazenar informações e participar de decisões.

A introdução dos chamados produtos inteligentes é em Kiritsis (2011) relacionada ao advento de tecnologias da informação e outras relacionadas, como RFID, sensores de reduzido tamanho e, de forma mais genérica, a dispositivos de informação incorporados ao produto.

Sucintamente, a introdução dos produtos inteligentes é conceituada em Meyer, Främling e Holmström (2009) por: ser individualmente rastreável, permitir associação de informações e ter poder de decisão.

Três principais definições de produtos inteligentes são encontradas na literatura, e consideradas complementares. São, em ordem cronológica, as definições de McFarlane et al. (2003), Kärkkäinen et al. (2003) e Ventä (2007), apresentadas na sequência, nessa ordem.

Um produto inteligente é uma representação física e baseada em informação de um produto o qual:

- 1) Possui identificação única;
- 2) É capaz de se comunicar efetivamente com o ambiente;
- 3) Pode reter ou armazenar informações sobre ele próprio;
- 4) Implanta uma linguagem para mostrar suas características, requisitos de produção, etc.;
- 5) É capaz de participação ou tomar decisões relevantes sobre seu próprio destino. (MCFARLANE et al., 2003, p. 372, tradução nossa).

Conforme Kärkkäinen et al. (2003), produtos inteligentes deveriam possuir as seguintes propriedades:

1. Código de identificação globalmente exclusivo;
2. Ligações para fontes de informação sobre o produto através das fronteiras organizacionais, ou incluídas na própria identificação ou acessíveis por algum mecanismo de busca;
3. Podem comunicar o que precisa ser feito com eles para sistemas de informações e usuários quando necessário (até mesmo pro-ativamente).

Ventä (2007) se refere por inteligência para produtos e sistemas que:

1. Continuamente monitoram seu status e o ambiente;
2. Reagem e se adaptam a condições ambientais e operacionais;
3. Mantém desempenho otimizado em circunstâncias variadas, também em casos excepcionais;
4. Comunicam-se ativamente com o usuário, ambiente ou com outros produtos e sistemas.

Comentários e análises comparativas entre definições de produtos inteligentes, com análises das ideias por trás das mesmas, são também encontradas em Meyer, Främling e Holmström (2009) e em Kiritsis (2011). Em outros textos, autores fazem referências às principais definições ou definem e tratam os produtos inteligentes baseados nos mesmos conceitos (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; BAÑA; PANETTO; MOREL, 2009; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; YANG; MOORE; CHONG, 2009; ZHEKUN; GADH; PRABHU, 2004).

As três principais definições de produtos inteligentes mencionadas acima, consideradas aderentes às características de produtos inteligentes expressadas em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), no contexto dos mesmos para a Indústria 4.0, são consideradas relevantes quanto ao conteúdo voltado para tendências da manufatura atual da Fábrica de Aprendizagem, objeto de estudo desta dissertação de mestrado.

A definição de produtos inteligentes passa pela consideração da interação do produto físico com o produto digital. Kiritsis (2011) define como *PEID (Product Embedded Information Device – Dispositivo de Informações Incorporadas ao Produto)* como sendo a relação entre o produto e sua representação eletrônica em sistemas de informação.

Figura 3 - Relação entre o conceito, a realidade e a representação do produto

Fonte: Baïna, Panetto e Morel (2009) , tradução nossa.

Em Baïna, Panetto e Morel (2009) a agregação que combina tanto a parte material do produto com o conjunto de informações relacionadas ao mesmo é considerada como um holon, e a representação de produto proposta por eles visa a atingir a completa representação do produto definida por um conjunto de propriedades e seus valores. As dimensões do produto de acordo com essa proposta são ilustradas na Figura 3. A proposta de modelamento do produto de Baïna, Panetto e Morel (2009) visa à sincronização do fluxo material do produto com o fluxo de informações do mesmo ao longo de seu ciclo de vida e, segundo os autores, o novo paradigma envolve mudanças nas rotinas de modelamento e planejamento do produto, o que significa um novo cenário para a atuação de engenheiros.

A proposta de visão holística do produto de Baïna, Panetto e Morel (2009), que segundo os autores deve considerar duas categorias de aspecto informacional (atributos intrínsecos aos mesmos, oriundos da concepção do produto, e informações acrescentadas ao longo do ciclo de vida), vai de encontro a endereçar as dúvidas quanto às informações e inteligência a ser embarcada no produto, que também são deixadas evidentes em McFarlane et al. (2013) e Kiritsis (2011). A visão de que a inteligência dos produtos poderá considerar informações geradas quando o produto é concebido e acrescentadas ao longo do ciclo de vida é compartilhada por Främling et al. (2007).

A literatura apresenta propostas de classificação do nível e tipo de inteligência nos produtos. Meyer, Främling e Holmström (2009) afirmam que o grau de inteligência dos produtos pode variar de produtos desprovidos de inteligência a entidades proativas, o que segundo eles é o principal foco das definições e classificações de McFarlane et al. (2003) e de Kärkkäinen et al. (2003). Considerando que as definições e classificações de produtos inteligentes até então eram unidimensionais e limitadas, focando apenas em certos aspectos de produtos inteligentes, Meyer, Främling e Holmström (2009) propuseram em seu texto uma classificação tridimensional, sendo Nível de Inteligência, Classificação de Inteligência e Nível de Agregação da Inteligência as três dimensões consideradas, demonstradas na Figura 4.

Figura 4 - Modelo tridimensional de classificação de produtos inteligentes

Fonte: Meyer, Främling e Holmström (2009) , tradução nossa.

Uma característica singular dos produtos inteligentes definidos e classificados conforme a classificação tridimensional é a transição para a identificação única, e a transição de tipo de produto para produto individual. Antes identificados por grupos que podiam ser lotes, bateladas, caixas ou outros, os produtos passam a ter identidade própria, oferecendo recursos de rastreabilidade antes não empregados amplamente na indústria.

Em uma das primeiras literaturas a abordar a especificação de produtos inteligentes, McFarlane et al. (2003) afirmam que a identificação única vinha sendo utilizada então há pelo menos 20 anos, mas que esforços de pesquisa e redução de custos nas tecnologias envolvidas eram necessários. Em Främling et al. (2007), texto dedicado a comparar, do ponto de vista de Ciências da Computação, três abordagens para alcançar a identificação individual, os autores definem como GUPI (*Globally Unique Product Identifier* – Identificador de Produto Globalmente Exclusivo) os dispositivos

que podem levar à tal identificação, e estabelecem os requisitos e critérios para o esquema de nomeação dos produtos, que deve ser:

- a) Simples;
- b) Aberto;
- c) Longevo;
- d) Padronizado;
- e) Extensível;
- f) Hierárquico;
- g) Capaz de proporcionar alguma garantia de exclusividade;
- h) Distribuído;
- i) Capaz de permitir numeração privada;
- j) Capaz de prover registro a um custo rentável; e
- k) Capaz de proporcionar custo-benefício por item.

A introdução e uso de produtos inteligentes envolve a geração, armazenamento, recuperação e uso de dados sobre os mesmos. A nova condição envolve mudanças na forma como os dados sobre os produtos são gerados, armazenados e acessados, assim como do volume de dados envolvidos. Em Yang, Moore e Chong (2009), os autores consideram os dados do ciclo de vida do produto como sendo estáticos ou dinâmicos, e os diferenciam conforme o exposto no Quadro 1.

Quadro 1 - Dados estáticos e dados dinâmicos

DADOS ESTÁTICOS	DADOS DINÂMICOS
Relacionados a especificações do produto	Relacionados à produção e uso do produto
Gerados no início do ciclo de vida do produto (BOL), raramente mudam ao longo do mesmo	Gerados durante a distribuição, uso e fim do ciclo de vida do produto (MOL e EOL)
<p>Detalhes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiais • Componentes • Fornecedores • Opções de configuração • Instruções de operação <ul style="list-style-type: none"> • BoMs • Identificação de componentes específicos <ul style="list-style-type: none"> • Materiais perigosos • Conteúdo dos materiais • Informações de devolução • Atributos de desmontagem • Informações de reciclagem 	<p>Informações sobre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Padrões de uso • Desgaste e falhas <ul style="list-style-type: none"> • Panes • Condições e fenômenos ambientais relacionados • Ações de manutenção, reparos e substituição de componentes

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Yang, Moore e Chong (2009).

Em Främling et al. (2007), os autores classificam como quase impossível o armazenamento de todas as informações dos produtos neles próprios, sugerindo o armazenamento em sistemas. Como razões adicionais para tal, mencionam menor custo, armazenamento ilimitado de dados, melhor gestão de segurança e possibilidade de recuperação e acesso às informações mesmo quando o produto não está disponível.

Reportando medições de desempenho de sistemas de produção usando inteligência nos produtos, baseados em estudos de simulação, nos quais foram avaliados níveis médios de trabalho em processo, prazos de entrega, custos de armazenamento, pedidos concluídos nos prazos, satisfação e opinião dos usuários sobre os atributos, McFarlane et al. (2013) citam gestão de interrupções e robustez como os principais benefícios do uso de produtos inteligentes.

Benefícios gerais da aplicação de produtos inteligentes na indústria foram encontrados na literatura, relacionados aos assuntos abaixo:

- Exemplos bem sucedidos de aplicação para carregar instruções de montagem em processo, gestão de cadeia de fornecimento e em produção customizada (ZHEKUN; GADH; PRABHU, 2004);
- Melhorias nos sistemas de planejamento e controle de manufatura, e nos sistemas de *Change-Over* e *Set-up* (BUSSMANN; SCHILD, 2000);
- Melhorias na gestão da situação e estágio de liberação de pedidos, situação de equipamentos, e benefícios quanto à qualidade do ponto de vista de contribuição na concepção de soluções de manufatura à prova de erro (MCFARLANE et al., 2003);
- Informação em tempo real da situação (identificação, localização e outras condições) dos produtos, evitando o atraso entre a ocorrência dos eventos e o registro de informações nos sistemas (FRÄMLING et al., 2013; MEYER; WORTMANN; SZIRBIK, 2011);
- Descentralização do controle e monitoramento da produção, favorecendo a solução de distúrbios sem o envolvimento de planejadores centrais, de forma a proporcionar agilidade ao processo (MEYER; WORTMANN; SZIRBIK, 2011; SALLEZ et al., 2010);
- Melhorias em estratégias de controle de células de produção, adoção de diferentes estratégias de produção e desenvolvimento de algoritmos de

roteamento dinâmicos em sistemas de manufatura flexíveis, e utilização de RFID embarcados em peças de metal durante processos de fundição (MCFARLANE et al., 2013);

- Maximização do potencial de diagnóstico de problemas eletroeletrônicos de motores de veículos dotados de Unidade de Controle Eletrônica, inclusive de forma remota, evitando problemas relacionados a falhas de difícil reprodução (FRÄMLING et al., 2013; MCFARLANE et al., 2013);
- Potenciais melhorias dos serviços de manutenção pós vendas quanto a identificação das peças, aplicação de peças com as corretas características em cada caso e rastreabilidade das montagens (IVES; VITALE, 1988);
- Customização, flexibilidade ao ponto de permitir mudanças no “último minuto”, redução do volume mínimo de produção para 1 unidade (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Característico na literatura avaliada, os benefícios são em geral apresentados como potenciais, ou baseados na avaliação de propostas teóricas contidas nos documentos, com raras exceções.

A gestão do ciclo de vida do produto (abreviado como *PLM* do inglês *Product Lifecycle Management*) é um benefício tratado à parte e com maior ênfase na literatura. Conforme Kiritsis (2011), PLM é uma abordagem estratégica que objetiva gerir informações relacionadas ao produto de forma eficiente durante toda a vida do mesmo, baseada em três dimensões fundamentais:

- Acesso e uso universal, seguro e gerenciado de informações do produto;
- Integridade das informações ao longo do processo;
- Gestão e manutenção de processos de negócio envolvidos na criação, gestão, disseminação, compartilhamento e uso das informações.

Essencial devido aos longos ciclos de vida dos produtos (FRÄMLING et al., 2013) e com importância maximizada devido ao maior interesse atual em conhecimento sobre os padrões de utilização e de comportamento dos produtos em campo (FRÄMLING et al., 2007), o PLM apresenta em seu formato tradicional limitações principalmente relacionadas à indisponibilidade de informações após a conclusão das etapas de manufatura. O conceito de *PLM* na literatura (TERZI, 2008) considera

tradicionalmente 3 fases principais nomeadas conforme abaixo e ilustradas na Figura 5:

- Início da Vida (BOL, do inglês *Beginning of Life*), incluindo projeto e produção/sistemas de manufatura;
- Meio da Vida (MOL, do inglês *Middle of Life*), incluindo processos logísticos (por exemplo distribuição), uso, prestação de serviço e manutenção; e
- Fim da Vida (EOL, do inglês *End of Life*), incluindo logística reversa (por exemplo coleta), remanufatura (por exemplo desmontagem e outros tratamentos) e reciclagem.

As limitações mencionadas, quanto à interrupção após BOL, que incluem problemas de interoperabilidade entre diferentes sistemas envolvidos (SALLEZ et al., 2010) levam à necessidade do chamado *Closed-loop PLM*, ou Gestão do Ciclo de Vida Completo do Produto. Tem como benefícios, adicionais aos já mencionados quanto a rastreabilidade, o potencial de absorver informações do uso e desempenho do produto para cada um dos processos anteriores ao uso, com potencial de, além de melhorar o fluxo de informações, levar a: redução do tempo de projeto, manufatura mais reativa, maior segurança na distribuição e maior confiabilidade do produto.

Avaliação de simulação do conceito de produtos inteligentes e de *Closed-loop PLM* descrita em Salles et al. (2010) mostra resultados satisfatórios quanto a melhoria no desempenho do produto, redução do tempo de projeto, aumento da robustez e adaptabilidade do produto frente a distúrbios na manufatura, e melhoria na rastreabilidade ao longo de todo o ciclo de vida.

Dificuldades na operacionalização do *PLM* em decorrência da heterogeneidade dos sistemas de coleta e armazenamento de dados, e dos decorrentes problemas de conflitos de formatos, são reportados em, por exemplo, Baïna, Panetto e Morel (2009).

2.1.2 Sistemas físico-cibernéticos e manufatura inteligente

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) classificam como revolução as transformações radicais promovidas pelas tecnologias da informação no mundo em que vivemos e trabalhamos. Os autores comparam essas transformações ao impacto da mecanização e da eletricidade, referências das 1ª e 2ª revoluções industriais. Transformações estas que, relevantes ao longo das últimas 3 décadas, são agora ponto de partida para um cenário em que a computação é onipresente no cotidiano pessoal e profissional das pessoas.

Computadores pessoais evoluíram para dispositivos inteligentes de tamanho reduzido e praticidade ampliada; novos serviços de tecnologia da informação são disponíveis e seguem evoluindo, como por exemplo a computação em nuvem; dispositivos, hardwares e sistemas embarcados estão cada vez menores, mais potentes e mais conectados entre si e com a Internet; fatores que somados estão levando a uma convergência dos mundos físico e virtual na forma de sistemas físico-cibernéticos que, pela primeira vez, conectarão recursos, informações, objetos e pessoas, com efeitos no mundo industrial (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Segundo Schuh et al. (2014), para cada período de industrialização há avanços tecnológicos fundamentais com impacto no aumento de produtividade, os quais são chamados de tecnologias de uso geral (BRESNAHAN; TRAJTENBERG, 1995). Os autores afirmam que os sistemas físico-cibernéticos interconectando o mundo físico ao mundo da tecnologia da informação podem ser referenciados como a próxima tecnologia de uso geral, relacionada à 4ª Revolução Industrial.

Segundo Monostori (2014), com o estabelecimento dos sistemas físico-cibernéticos, o cenário é de introdução de novos modos de comunicação entre homem, máquina e

produtos possibilitados, por um lado, pelos recentes desenvolvimentos da informática e das tecnologias da informação e da comunicação, e por outro, pelo desenvolvimento da ciência e tecnologia de manufatura. Em texto dedicado a introdução do conceito dos sistemas físico-cibernéticos, suas origens e desafios para plena implementação, o autor relaciona:

- Os fenômenos que precederam o atual cenário, que são relacionados principalmente a sistemas de manufatura;
- As múltiplas expectativas, em que predominam a autonomia de sistemas e processos, a robustez e a eficiência;
- Os campos de aplicação potencial, nas mais diversas áreas profissionais, sociais e até mesmo pessoais.

A descrição de Internet das Coisas precede a descrição de sistemas físico-cibernéticos. O termo, do inglês *Internet of Things*, sigla *IoT*, é atribuído a uma rede mundial de laboratórios de pesquisa acadêmicos, nomeado como *Auto-ID Labs*, dedicados ao campo de pesquisa de RFID e tecnologias emergentes relacionadas. Semanticamente significa uma “[...] rede mundial de objetos interconectados e unicamente endereçáveis, baseados em protocolos de comunicação padronizados” (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010, p. 2788). Na prática, significa:

[...] presença generalizada à nossa volta de uma variedade de coisas e objetos - como etiquetas de identificação por rádio frequência (RFID), sensores, atuadores, telefones celulares, etc. - os quais, através de esquemas de endereçamento exclusivos, são capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar objetivos comuns (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010, p. 2787, tradução nossa).

Segundo a Agência das Nações Unidas especializada em tecnologias de informação e comunicação, a Internet das Coisas levará a conectividade para qualquer coisa, a qualquer hora, de qualquer lugar, para qualquer pessoa (ITU, 2005 apud ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). A inclusão do assunto, pelo Conselho de Inteligência Nacional Norte Americano, na lista das seis Tecnologias Civis Disruptivas com potencial impacto no poder daquele país (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010) é apenas uma demonstração da importância e impacto do mesmo na sociedade atual e futura.

Classificados como uma das direções mais significativas no desenvolvimento das ciências da computação e das tecnologias da informação e da comunicação

(MONOSTORI, 2014), os sistemas físico-cibernéticos, do inglês *Cyber-Physical Systems*, sigla *CPS*, são pelo autor definidos como:

[...] sistemas de entidades computacionais colaboradoras que estão em intensiva conexão com o mundo à sua volta e seus processos em andamento, fornecendo e usando, ao mesmo tempo, serviços de acesso e processamento de dados disponíveis na internet. (MONOSTORI, 2014, p. 9, tradução nossa).

Conforme Schuh et al. (2014a), sistemas físico-cibernéticos são baseados na evolução de integração de duas tecnologias de base já existentes, que são os sistemas embarcados e a Internet das Coisas. Podem ser, segundo Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), caracterizados por cinco dimensões constituintes. São elas:

- Fusão do mundo físico e virtual;
- Formação dinâmica de sistemas-de-sistemas;
- Sistemas operacionais autônomos e dependentes do contexto;
- Sistemas cooperativos com controle descentralizado;
- Extensa colaboração entre humanos e sistemas.

Na manufatura, segundo Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), os sistemas físico-cibernéticos permitem a criação de redes que incorporem recursos e instalações nos processos de criação e produção do produto, permitindo não apenas maior flexibilidade, mas também oportunidades oferecidas por processos diferenciados de gestão e controle. No contexto da manufatura, a definição de sistemas físico-cibernéticos se entende para o contexto de sistemas de produção físico-cibernéticos, sigla CPPS, definido a seguir.

[...] elementos e subsistemas autônomos e cooperativos que estão se conectando uns aos outros de maneiras dependentes da situação, em todos os níveis da produção, desde processos até máquinas e redes de produção e logística. (MONOSTORI, 2014, p. 10, tradução nossa).

Sistemas de produção físico-cibernéticos fazem parte do cenário envolvido com a produção inteligente. Conforme McFarlane et al. (2003) são listadas quatro características de sistemas de controle de manufatura inteligente que, de forma sucinta, envolvem tomada de decisão por mais de um elemento do sistema que, no processo, são ligados aos elementos físicos do universo da manufatura e interagem

de forma flexível e colaborativa sem que cada um tenha acesso a todas as informações necessárias para tal.

O processo de tomada de decisão envolvido com os sistemas de controle de manufatura inteligente acontece em uma configuração onde coexistem os produtos inteligentes, sendo introduzidos no contexto da Indústria 4.0 e já abordados na Seção 2.1.1, e os recursos inteligentes, abordados na introdução.

Segundo McFarlane et al. (2003), o uso da auto identificação, característica dos produtos inteligentes, é um meio para permitir o uso conjunto de informações dos produtos e dos recursos inteligentes. Em McFarlane et al. (2003), há ilustrações do funcionamento de sistemas de produção convencionais e com auto identificação, com comparação demonstrada na Figura 6.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em McFarlane et al. (2003).

A partir da definição de produtos inteligentes de McFarlane et al. (2003), os autores propõem em McFarlane et al. (2013) um quadro demonstrando as características-chave de um sistema operando com produtos inteligentes – Quadro 2. Os autores adicionam que o sistema se torna distribuído em termos de informações e processamento de decisões, orientado para o cliente e completamente ou parcialmente automatizado.

Quadro 2 - Características de sistema industrial com o uso de produtos inteligentes

PRODUTO INTELIGENTE INDIVIDUALMENTE	PRODUTO INTELIGENTE EM SISTEMAS INDUSTRIAIS
Possui identificação única	Representa as necessidades (do cliente) relacionadas ao pedido Exemplo: produtos solicitados, qualidade prazo, custo acordado
É capaz de se comunicar efetivamente com o ambiente	Se comunica com a organização local (assim como com o cliente) sobre o pedido
Pode reter ou armazenar informações sobre ele próprio	Monitora o progresso do pedido ao longo da cadeia de fornecimento industrial
Implanta uma linguagem para mostrar suas características, requisitos de produção, etc.	(Usando a preferência do cliente) Influencia a escolha entre diferentes opções que afetam o pedido quando essas escolhas precisam ser feitas
É capaz de participação ou tomar decisões relevantes sobre seu próprio destino	Se adapta dependendo das condições

Fonte: McFarlane et al. (2013) , tradução nossa.

Um aspecto relevante na diferenciação entre os recursos e os produtos inteligentes é adicionado por McFarlane et al. (2003) e diz respeito ao padrão de conexão dos mesmos às redes. Segundo os autores, recursos inteligentes, geralmente estacionários ou com limitada mobilidade, “[...] são tipicamente conectados diretamente a uma rede local (LAN) e então têm acesso a todos os serviços de gestão de dados disponíveis na infraestrutura de tecnologia da informação da organização” (MCFARLANE et al., 2003, p. 365, tradução nossa). O mesmo não se aplica aos produtos inteligentes de maior mobilidade, a qual extrapola as fronteiras das companhias, cenário em que se inserem as tecnologias de identificação automatizada já abordadas no Subseção 2.1.1.

Conforme Monostori (2014), o desenvolvimento da Ciência da Computação e das Tecnologias da Informação e da Comunicação contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento na manufatura, mas essa não é uma contribuição unilateral; as demandas colocadas pela manufatura no contexto da Indústria 4.0 também colocaram desafios às primeiras o que levou e está levando a maiores desenvolvimentos de ambas. Em sua conclusão, Monostori (2014) ressalta a importância dos sistemas físico-cibernéticos para o desenvolvimento dos sistemas de manufatura, questiona se esta relação será considerada de fato a 4ª Revolução Industrial, o que ele classifica que será decidido pelas futuras gerações.

2.2 INOVAÇÕES NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

Em Sheppard et al. (2006), os autores estabelecem que o exercício da engenharia depende de três domínios de educação, que são um corpo de conhecimento especializado, habilidades de solução de problemas e bom senso para o serviço da sociedade. Segundo os autores, engenheiros preparados conforme esses três requisitos tornam-se profissionais intelectualmente treinados, aptos para a prática e eticamente responsáveis pelo seu trabalho.

Abordar o processo de educação de engenheiros pode partir pela consideração de duas importantes dimensões do mesmo, que são conhecimento de engenharia e aprendizado de engenharia. A colocação de conhecimento em prática aparece explícita na definição de conhecimento de engenharia de Sheppard et al. (2006), que ainda incluem o aspecto de contínua mudança do mesmo, que eles classificam como sua característica dinâmica e relacionada ao entendimento coletivo do mundo.

Aspectos do processo de aprendizado que cabem aos alunos ficam evidentes em Kolmos (1996), ao abordar mencionando investigação ativa baseada em interesses, curiosidades e experiências dos alunos.

A necessidade na inovação na educação dos engenheiros é creditada por Murphy, Gomes e Romagnoli (2002) aos desafios aos modos tradicionais de educação de engenharia colocados pelo rápido ritmo de desenvolvimentos tecnológicos e pelo alto custo de equipamentos de engenharia. Ao referirem-se aos modos, os autores referem-se às práticas então atuais, baseadas em palestras e tutoriais padronizados, mas o histórico mostra períodos de transição.

Conforme Banios (1992), maior ênfase em ciências de engenharia e teoria vieram após a segunda guerra mundial. Lamancusa et al. (2008) relaciona essa transição à publicação do Relatório Grinter (GRINTER, 1955, apud LAMANCUSA et al., 2008) e ao lançamento do satélite artificial Sputnik, em 1957. São advindos dessa transição uma maior abstração com ênfase em cálculos e ciências, maior destinação de recursos pelo governo americano para pesquisas, o que acarretou em substituição de oficinas por programas de pesquisas ou laboratórios de informática. Aulas passaram a serem mais atrativas, em detrimento de atividades práticas (LAMANCUSA et al., 2008). O resultado dessa transição focada na teoria são estudantes praticando menos engenharia em aulas e laboratórios de participação passiva, sendo sobrecarregados

de informações de forma superficial (LAMANCUSA et al., 2008), resultando em formandos menos experientes na prática da engenharia (DUTSON et al., 1997).

Considerando empresas e indústrias em geral como clientes finais de processos de educação de engenheiros, pode-se considerar que se tem uma relação cliente-fornecedor não completamente atendida. Em texto motivado pela falta de experiência em processos de manufatura em engenheiros recém-formados, Ssemakula, Liao e Ellis (2010) relacionam estilo de ensino tradicional baseado em aulas à formação de profissionais com limitadas experiências quanto aos interesses da indústria. Segundo os autores, esse estilo de ensino deixa uma lacuna entre as expectativas da indústria e as competências resultantes em recém-formados em engenharia e tecnologia. O texto traz uma síntese de resultados de pesquisa e entrevistas conduzidas periodicamente pela *Society of Manufacturing Engineers* (SME) desde 1997 com líderes de empresas de manufatura, que evidenciam a lacuna conforme demonstrado no Quadro 3, em ordem decrescente de necessidades. Afirmções da existência de lacuna entre ensino e as demandas das empresas e indústrias são também presentes em Lamancusa et al. (2008) e em Jaeger et al. (2013).

Quadro 3 - Lacunas de Competências em Manufatura de Graduados em Engenharia

RANKING CONFORME A ORDEM DE NECESSIDADE	LACUNAS
1.	Conhecimentos / habilidades em negócios
2.	Gestão de cadeias de fornecimento
3.	Gestão de Projetos
4.	Perspectiva internacional
5.	Materiais
6.	Controle de processos de manufatura
7.	Comunicação escrita e oral
8.	Projeto de Produto / Processo
9.	Qualidade
10.	Processos de manufatura específicos
11.	Sistemas de manufatura
12.	Solução de problemas
13.	Trabalho em equipe / trabalhar eficazmente com outros
14.	Atributos pessoais
15.	Fundamentos de engenharia

Fonte: Ssemakula, Liao e Ellis(2010) , tradução nossa.

Na literatura, são comuns críticas dos autores aos métodos convencionais de ensino de teoria baseadas em aulas padronizadas e tutorias, providas a custos relativamente acessíveis (MURPHY; GOMES; ROMAGNOLI, 2002). Lamancusa et al. (2008) enfatiza a passividade dos estudantes na expectativa dos professores proverem todos os conhecimentos necessários, assim como as diferenças de métodos de aprendizado. Dym (2003) questiona se os estudantes aprendem de forma eficaz em paradigmas baseados na passividade. Sirinterlikci (2009) classifica que os métodos tradicionais de educação, caracterizados por uma configuração de sala de aula em que os estudantes são ensinados enquanto acompanham notas nas páginas de seus livros, não são eficazes, resultando em retenção limitada de conhecimento pelos estudantes. Jaeger et al. (2013) menciona que a diferença entre o ensinado em sala de aula, caracterizado por configuração professor à frente da mesma, e o necessário

na vida real têm sido sempre um problema da educação tradicional, assim como também cita as diferenças de métodos de aprendizado. Segundo os últimos autores, “Transformar teoria em prática é o significativo desafio deixado para os estudantes” (JAEGER et al., 2013, p. 24).

Ao citar Cachay, Wennemer e Abele (2012), que também criticam os métodos de ensino tradicionais devido a seus efeitos limitados, Abele et al. (2015) detalha, baseado em Giffi (2013), que novas abordagens de ensino são necessárias para:

- Permitir treinamento em ambientes realísticos de manufatura;
- Modernizar o processo de ensino e trazê-lo para mais perto da prática industrial;
- Influenciar práticas industriais por meio da adoção de novos conhecimentos e tecnologias de manufatura;
- Impulsionar inovação na manufatura por meio de melhora nas capacidades dos novos engenheiros em, por exemplo, capacidade de solução de problemas, criatividade ou capacidade de pensamento sistêmico – inovação baseada no talento é o direcionador número um de competitividade na manufatura.

A diferença nos estilos de aprendizagem é especificamente abordada em Ssemakula, Liao e Ellis (2010) que afirmam, baseados em pesquisas acadêmicas anteriores, que há diferenças de estilos de aprendizagem entre os estudantes, e que a combinação desses com o estilos de ensino dos docentes resulta em mais longa e eficaz retenção e aplicação das informações, e de mais positiva atitudes pós-curso. O texto cita diferentes modelos disponíveis na literatura, e detalha, por ser mais adequado para caracterização da educação de engenharia, o *Felder-Silverman Learning Style Model (FSLSM)*, que aborda não só os estilos de aprendizagem, mas também os opostos estilos de ensino, conforme exposto no Quadro 4. A oposição entre os estilos, segundo os autores, demanda maior esforço dos docentes na preparação de materiais que atendam a todos os estilos de aprendizagem.

Quadro 4 - Inventário de estilos de aprendizagem Felder-Silverman Learning Style Model

ESTILOS DE APRENDIZAGEM		ESTILOS DE ENSINO
Sensorial (concreto, prático, orientado para fatos e procedimentos)	X	Intuitivo (conceitual, inovativo, orientado para teoria e significado)
Visual (prefere apresentações visuais – imagens, diagramas, fluxogramas)	X	Verbal (prefere explicações escritas e verbais)
Indutivo (prefere apresentações que partem do específico para o generalizado)	X	Dedutivo (prefere apresentações que partem do generalizado para a específico)
Ativo (aprende por tentativas, trabalhando com outros)	X	Reflexivo (aprende por pensar sobre as coisas, trabalhando sozinho)
Global (holístico, de pensamento sistêmico, aprende em grandes saltos)	X	Sequencial (linear, organizado, aprende em pequenos passos)

Fonte: Ssemakula, Liao e Ellis (2010) , tradução nossa.

Diferentes estilos de ensino são também abordados em Tisch et al. (2013), com proposta de uma morfologia de classificação dos mesmos de acordo com seus pontos fortes e fracos. No Quadro 5 é apresentada a morfologia, com ilustração do método tradicional de aulas.

Em Tisch et al. (2013), há também uma diferenciação entre estilos formal e informal de aprendizagem, sendo o informal relacionado a aprendizagens ativa e baseada em problemas, e o formal relacionado a programações orientadas à ciência, como por exemplo: apresentações ou explicações de conhecimentos profissionais ou conceituais, relacionado assim ao tradicional método de aulas.

O desafio para as universidades e instalações de treinamento passa, segundo Abele et al. (2015), pela identificação de perfis de futuros trabalhos e requisitos de competências correlatas, e adaptação de seus conceitos educacionais, que passariam a contar com ambientes de aprendizagem renovados. Aproximar das rotinas de ensino a integração do conhecimento, habilidades práticas e julgamento ético é um desafio identificado em Shepard et al. (2006).

Aspectos chave que motivam a introdução de inovações na educação dos engenheiros são mencionados na literatura, comumente relacionados à aderência entre a aprendizagem e a prática da engenharia de fato e à realidade das indústrias. Por exemplo: em Murphy, Gomes e Romagnoli (2002), é requerida a combinação de conhecimento teórico suportado por experiências práticas relevantes.

Quadro 5 - Morfologia de métodos de ensino

GRUPO	CRITÉRIOS	CARACTERÍSTICAS			
PESSOAS ENVOLVIDAS	Grau de envolvimento do instrutor-receptor	Ênfase no instrutor		Envolvimento instrutor-receptor	
	Papel do instrutor	Ministrar aulas	Tutorial	Orientador	Mentor
AMBIENTE DE APRENDIZAGEM	Relação de realidade do ambiente de aprendizagem	Classes tradicionais	Ambiente simulado	Simulação de produção real	Fábrica real
	Relação de trabalho do aprendiz	Aderente ao trabalho		Ligado ao trabalho	
	Relação espacial entre ambiente de aprendizagem e ambiente de trabalho	Separado		Perto do ambiente de trabalho	
	Impacto em relação aos riscos de produção	Baixo risco		Médio risco	
PROCESSO	Tipo de processo de ensino	Controlado externamente			Auto controlado
	Potencial de transferência	Baixo		Médio	Alto
	Assunto em determinado momento	Baixo		Médio	Alto
RECURSOS	Flexibilidade de tempo para conduzir o método de ensino	Baixo		Médio	Alto
	Tempo demandado para preparação e planejamento	Baixo		Médio	Alto
	Recursos materiais	Baixo		Médio	Alto
	Recursos espaciais	Baixo		Médio	Alto
	Recursos de pessoal	Baixo		Médio	Alto
	Custos por participante	Baixo		Médio	Alto
	Requisitos do instrutor	Baixo		Médio	Alto
	Escalabilidade do método de ensino	Baixo		Médio	Alto
	Repetibilidade do método de ensino	Baixo		Médio	Alto

Fonte: Tisch et al. (2013) , tradução nossa.

A necessidade de se manter atualizado com os requisitos atuais do ambiente de trabalho, importante fator no atual cenário de evolução tecnológica da Indústria 4.0, expõe os atores do processo a demandas que evoluem exigindo habilidades avançadas, novas competências e experiência ampliada (JAEGER et al., 2013). Prossegue ao relacionar a provisão a futuros engenheiros industriais de uma visão ampliada e a análise de problemas interdisciplinares e o desenvolvimento de soluções abrangentes (JAEGER et al., 2013).

Aspectos relacionados ao reduzido tempo de permanência de funcionários em determinadas posições e o envelhecimento do conhecimento, assim como a demanda das empresas para que os funcionários utilizem seus conhecimentos em situações inimagináveis, situações estas não endereçáveis em sala de aula, são motivações adicionadas em Cachay, Wennemer e Abele (2012). Segundo Ssemakula, Liao e Ellis (2010), como forma de atendimento das demandas de qualificação das indústrias, a introdução das novas abordagens seria direcionada para os estilos de aprendizagem Sensorial, Visual e Ativo. Sheppard et al. (2006) afirma que para preparar futuros profissionais, a educação profissional deve ser voltada para a prática, posição compartilhada por Vincenti (1990).

Na Figura 7 a Pirâmide de Aprendizagem demonstra a direta relação entre o padrão de instrução e de retenção, com o objetivo de enfatizar aspectos de envolvimento e comunicação dos métodos de ensino (BOOTH, 2011 apud JAEGER et al., 2013).

Fonte: Booth (2011) apud JAEGER et al. (2013) , tradução nossa.

Borrego, Froyd e Hall (2010) pesquisaram as inovações na formação de engenheiros de forma abrangente, com o objetivo de avaliar padrões de conhecimento e adoção pelas instituições de ensino, e detalhes envolvidos no processo. Baseados em revisão de literatura e critérios determinados, se concentraram em sete inovações, relacionadas no Quadro 6, que posteriormente tiveram a avaliação realizada através de pesquisa. Nas sete inovações pesquisadas, percebe-se o fator inclusão de atividades práticas. Apresentam conclusão favorável à adoção quanto à eficácia das inovações em promover aprendizado e retenção de conhecimento, apenas com ressalva quanto às configurações empregadas. Em especial, duas delas foram consideradas pelos autores como de fácil introdução por não dependerem de coordenação ente diferentes departamentos e docentes, que são: Pedagogias Estudante-Ativo e Dissecção de Artefatos.

Quadro 6 - Sete Inovações na Formação de Engenheiros pesquisadas por Borrego, Froyd e Hall (2010)

ORDEM CRONOLÓGICA BASEADA NAS PUBLICAÇÕES MAIS ANTIGAS ENCONTRADAS	INOVAÇÃO
1.	Pedagogias Estudante-Ativo
2.	Dissecção de Artefatos
3.	Projetos de Aprendizado de Serviços de Engenharia baseados no Currículo
4.	Projetos de Design Interdisciplinares - <i>Capstone</i>
5.	Programas Ponte de Verão
6.	Comunidades de Aprendizagem ou Currículo Integrado
7.	Projetos de Design no 1º ano dos Cursos de Engenharia

Fonte: Borrego, Froyd e Hall (2010) , tradução nossa.

A pesquisa de Borrego, Froyd e Hall (2010), também abordou fatores que impactavam a adoção ou uso das inovações, e dos temas resultantes três se destacaram: recursos para a implementação e manutenção; aspectos relacionados aos docentes envolvidos; e opinião dos estudantes, sendo os dois primeiros de maior relevância. Para os três fatores, o resultado da pesquisa apresenta dados contrários e favoráveis.

Os dois com resultados mais relevantes dizem respeito a barreiras e dificuldades para a implantação. As inovações foram consideradas difíceis do ponto de vista de demanda de recursos, tendo sido considerados não apenas quanto a investimentos, mas também quanto a espaço, pessoal e tempo de dedicação. Fatores relacionados ao envolvimento dos docentes também aparecem como dificuldades relevantes, sendo tempo de dedicação, individualidades na decisão, resistência à mudança, marginalização do ensino na promoção e permanência, e ceticismo quanto aos resultados, os fatores mais relevantes do ponto de vista dos docentes.

Restrições por parte dos docentes são também relatadas em Ziemian e Sharma (2008), que relatam que para eles é mais fácil ensinar o que eles aprenderam quando alunos, e que mudanças nos currículos enfrentam resistência de docentes bem estabelecidos. Segundo os autores, o interesse, a disposição e o entusiasmo dos docentes para com as mudanças é uma das maiores barreiras na prática de relacionar diferentes módulos dos cursos, o que, na prática, seria a interdisciplinaridade ou multidisciplinaridade. Esse último aspecto aparece também em Jaeger et al. (2013), que afirma que a falta de conexão entre os diferentes conteúdos de diferentes docentes é um problema relevante, e relata que a decisão por conteúdo é baseada no conhecimento pessoal e importância atribuída por cada um deles.

A introdução da prática e da realidade na formação de engenheiros foi enfatizada na literatura avaliada. Em Schuh et al. (2015, p. 83, tradução nossa), os autores afirmam que “Em geral, ambientes de aprendizagem são considerados encorajadores ao ensino se eles são realísticos, situados, complexos e orientados a problemas”. Ao pesquisar especificamente a abordagem Fábricas de Aprendizagem, Jaeger et al. (2013) afirma que ganhos substanciais na eficácia de educação podem ser alcançados em comparação aos métodos tradicionais de ensino, e citam multidisciplinaridade e orientação para a prática como características determinantes da mesma.

Antes de tratar especificamente de Fábricas de Aprendizagem, essa revisão de literatura aborda dois temas complementares de inovações na formação de engenheiros e introdutórios ao tema de Fábricas de Aprendizagem, que são Aprendizado Ativo, também conhecido como Aprender Fazendo (JAEGER et al., 2013) e Aprendizado Baseado em Problemas.

2.2.1 Aprendizado ativo

Opiniões favoráveis, oriundas de docentes em busca de alternativas aos métodos tradicionais de ensino, e contrárias, oriundas de docentes céticos que a classificam como mais uma em longa fila de modismos educacionais, são reportadas em Prince (2004). Em Borrego, Froyd e Hall (2010), dentre as Inovações na formação de engenheiros pesquisadas, pedagogias estudante-ativo são reportadas com a maior taxa de adoção, fato creditado por eles à menor necessidade de coordenação entre diferentes docentes para sua implementação.

Segundo Bonwell e Eison (1991), estratégias promovendo aprendizado ativo são definidas como atividades instrucionais envolvendo estudantes fazendo coisas e pensando sobre o que estão fazendo. De acordo com os autores, a abordagem envolve dos estudantes engajamento em tarefas que requerem pensamento, análises, sínteses e avaliações. Em contraste com os métodos tradicionais, exclui-se o caráter passivo de recebimento de informações a partir de um instrutor (PRINCE, 2004). Descartada como apenas um conjunto de atividades de aprendizado, mas tratada com base na mudança de atitude entre alunos e professores em Chickering e Gamson (1987), classificada pelos mesmos como uma importante abordagem na preparação de engenheiros, especialmente de manufatura, é assim definida em Sirinterlikci (2009):

Aprendizado Ativo se trata de encontrar meios de ativamente engajar estudantes no processo de aprendizado de forma a melhorar o resultado do processo. Aprendizado Ativo é uma abordagem multifacetada e direcional onde várias interações são bem-vindas na forma de professor para estudante, estudante para professor, e estudante para estudante. (SIRINTERLIKCI, 2009, p. 1, tradução nossa).

Em Prince (2004), o conceito de Aprendizado Ativo considera ainda duas alternativas, que são Aprendizado Colaborativo e Aprendizado Cooperativo. A primeira refere-se a métodos instrucionais que envolvem grupos de estudantes dedicados a um objetivo em comum, e dá ênfase às interações. O segundo difere-se do primeiro com relação à avaliação, que é feita de forma individual para cada aluno.

Uma característica marcante da abordagem é a maior responsabilidade pelo aprendizado assumida pelos estudantes, sendo auto-gestão e automotivação consideradas partes críticas do processo que envolve experimentação direta,

construção, atuação, teste e revisão por parte dos estudantes (SIRINTERLIKCI, 2009), que atuam vendo, ouvindo, questionando e discutindo assuntos com outros estudantes.

Conforme registrado em Sirinterlikci (2009), os quatro principais componentes de Aprendizado Ativo são o auto diálogo, o diálogo com outros, a observação e o fazer. Em Ssemakula, Liao e Ellis (2010), que trata especificamente de um curso baseado em laboratório que provê experiências de manufatura realísticas aos estudantes, os autores acrescentam o ingrediente de integração de diversas disciplinas em torno de um mesmo produto e de todos os processos envolvidos com o mesmo. Por esse aspecto, a coordenação entre diferentes docentes é necessária, demonstrando êxito a uma dificuldade apontada por Borrego, Froyd e Hall (2010).

Em especial, destaca-se através do Aprendizado Ativo o resultante desenvolvimento das chamadas *soft skills*, ou habilidades comportamentais. Segundo Sirinterlikci (2009), processos de Aprendizado Ativo de sucesso, conduzidos por meio de equipes, promovem o desenvolvimento de comunicação, habilidades de pensamento em alto nível, habilidades de trabalho em equipes, atitudes positivas com relação ao objeto de estudo e motivação para o aprendizado.

Conforme relatado em Durão et al. (2017), ao escrever sobre o *soft side* da gestão de projetos, *soft skills* são reportados na literatura como objeto de preparação e qualificação nas universidades e objeto de requisitos em processos de seleção por empresas. Adicionalmente, os autores citam referências na literatura de gerenciamento de projetos em que a relação entre as *soft skills* e sucesso em projetos é demonstrada.

Há relato de caso de processo de seleção (OLIVEIRA, 2016)¹ em que o candidato não foi avaliado quanto aos conhecimentos que dominava, mas sim quanto aos que não dominava, como forma de avaliar sua capacidade e vontade de aprender e evoluir ao longo do processo seletivo, situação comparável à dinâmica da abordagem de aprendizado ativo (informação verbal).

Por objetivar em seu texto a apresentação de várias atividades para engajar estudantes mais ativamente em sua educação de engenheiros, especificamente de manufatura, em Sirinterlikci (2009) são descritos exemplos de atividades de

¹ Declaração do professor titular da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Prof. Dr. João Fernando Gomes de Oliveira, no 8º Dia da Engenharia Brasil-Alemanha, promovido pela VDI-Brasil em São Paulo, em novembro de 2016.

Aprendizado Ativo, como competições, análises críticas de estudos de casos, análises críticas de filmes e vídeos, projetos patrocinados pela indústria, projetos *capstone*, exercícios em laboratório, projetos simulando cenários reais, projetos de serviços e projetos de pesquisas. Dentre os exemplos, o autor classifica o engajamento fora de sala de aula proporcionado pelo conceito das Fábricas de Aprendizagem como uma das alternativas.

A inversão de papéis entre docentes e estudantes como característica marcante da abordagem fica bem evidente em Cachay, Wennemer e Abele (2012), para os quais o processo de aprendizagem deve ser configurado pelos próprios estudantes ao lidar com problemas e atividades complexas, resultando em julgamentos e tomada de decisões próprias.

Conclusões favoráveis ao uso da abordagem são explicitadas em Prince (2004), quanto aos dois elementos chave de Aprendizado Ativo definidos para efeito das análises conduzidas, que são a introdução de atividades nas aulas tradicionais e a promoção do engajamento dos estudantes. Conclusões favoráveis ao uso são também registradas para duas variações também analisadas no texto, que são Aprendizado Colaborativo e Aprendizado Cooperativo.

Em Cachay, Wennemer e Abele (2012), os autores classificam Aprendizado Ativo como um pré-requisito para obter a competência profissional relacionada à capacidade de agir em termos de planejamento, implementação e avaliação.

Já Sirinterlikci (2009) registra restrição ao uso quando do início do aprendizado e à completa substituição de aulas tradicionais, que são necessárias para assegurar uma base de conhecimento.

Em Schuh et al. (2015), são registradas opiniões quanto à eficácia do Aprendizado Ativo, neste caso Aprendizado Baseado no Trabalho, através da aquisição auto direcionada de conhecimentos e habilidades, para aplicação em ambiente de trabalho em substituição à instrução. Segundo os autores, a abordagem permite o desenvolvimento de potenciais que não seriam atingidos adequadamente em situações fora do ambiente de trabalho. Em análise dedicada a apontar como requisitos-chave para o aprendizado na produção são completamente atendidos por meio de características centrais da Indústria 4.0, os autores relacionam seis características da Indústria 4.0 que suportam o aprendizado baseado no trabalho: disponibilidade em tempo real de todos os dados relevantes de produção; produtos inteligentes a serem identificados e localizados a qualquer momento; atualização

virtual permanente de representações de objetos físicos; pré-processamento automático de dados coletados da produção; fornecimento de informação sensível ao contexto; e interface homem-máquina com novas opções de visualização e de entradas.

2.2.2 Aprendizado baseado em problemas

Classificado na época, quanto à educação de engenheiros, como um método inovador, teve seu desenvolvimento realizado com base na prática, conforme reportado pelos autores, na *McMaster University* do Canadá, no final dos anos 60 (DE GRAAFF; KOLMOS, 2003). Ajustes e mudanças nos métodos por razões pragmáticas, a partir das experiências de cada professor adepto à abordagem de Aprendizado Baseado em Problemas, são relacionadas pelos autores como características de sua evolução.

Envolvido desde os estágios iniciais do processo de desenvolvimento mencionado na *McCaster University*, Howard Barrows enfatiza em sua definição de Aprendizado Baseado em Problemas os atributos de ser centrado no estudante, ser conduzido em pequenos grupos com o professor atuando como facilitador, e ser organizado em torno de problemas (BARROWS, 1984 apud DE GRAAFF; KOLMOS, 2003).

Os princípios de aprendizado teórico, como aprendizado sendo a construção do conhecimento, meta-aprendizado e aprendizado contextual são enfatizados na definição de Gijsselaers (1996). Em Prince (2004), o Aprendizado Baseado em Problemas, considerada uma variação de Aprendizado Ativo assim como Aprendizado Colaborativo e Aprendizado Cooperativo, é definida com base na introdução de problemas no início de ciclos de aprendizado, com contexto e motivação sendo então promovidos ao longo do ciclo.

Cinco diferentes modelos de Aprendizado Baseado em Problemas, baseados em cinco diferentes objetivos do mesmo, são considerados descritos em Savin-Baden (SAVIN-BADEN 2000 apud DE GRAAFF; KOLMOS, 2003), que são Realização do Conhecimento, Aprendizado Baseado em Problemas para Trabalho Profissional, Aprendizado Baseado em Problemas para Compreensão Interdisciplinar, Aprendizado Baseado em Problemas para Aprendizado Transdisciplinar e Aprendizado Baseado em Problemas para Competências Críticas.

De Graaff e Kolmos (2003) consideram que *Project Work* é baseado em problemas por definição e tratam em seu texto de três diferentes tipos de *Project Work*, que são: Projeto Tarefa, Projeto Disciplina e Projeto Problema. Entre os três diferentes tipos, há variação na autonomia conferida aos estudantes na condução do processo, que vai de baixa, com o problema e os métodos orientados ao assunto escolhidos antecipadamente pelos professores (Projeto Tarefa), passando por intermediária (Projeto Disciplina) e chegando a alta, sem planejamento antecipado da sequência de ações a serem adotadas ao longo do processo de aprendizagem (Projeto Problema). Em Kolmos (1996), texto focado em explicar *Project Work*, com base na necessidade de clarificar as diferenças e similaridades entre Aprendizado Baseado em Problemas e *Project Work* tanto para instituições que já utilizam quanto para aquelas que planejam usar alguma das inovações, é definido que tanto *Project Work* quanto Aprendizado Baseado em Problemas enfatizam o processo de aprendizado ao invés de o processo de ensino.

De acordo com De Graaf (1993 apud KOLMOS, 1996), o aspecto inovador mais importante de Aprendizado Baseado em Problemas é a mudança de ensino para aprendizado, com alteração do papel dos professores de transferir conhecimento para facilitador de aprendizagem.

Segundo Kolmos (1996), a definição e comparação entre as duas abordagens, para efeitos de estabelecer fronteiras entre as mesmas, não é simples, havendo indefinição quanto às práticas de fato entre diferentes instituições de ensino.

Com base nas práticas de *Project Work* para educação de engenheiros da *Aalborg University*, Kolmos (1996) classifica os três tipos de *Project Work* (classificação que posteriormente evoluiu para a já apresentada), com relevante descrição da função do supervisor em cada um dos tipos:

Projeto Tarefa – Ser um supervisor nesse processo é simples sendo que o professor sabe exatamente o que vai ser explorado no projeto e vai direcionar as escolhas dos estudantes na direção planejada;
Projeto Assunto – Ser um supervisor nesse processo pode ser um pouco mais incerto, porque aos estudantes são permitidas algumas escolhas;
Projeto Problema – Ser um supervisor nesse processo pode ser difícil porque é um processo auto direcionado e o professor pode se encontrar no limite da capacidade (KOLMOS, 1996, p. 143-144, tradução nossa).

Conforme a literatura, Aprendizado Baseado em Problemas caracteriza-se por aprendizado auto direcionado, integração de conhecimento com prática focada em

exemplos relevantes, engajamento dos estudantes, trabalhos em grupos geralmente colaborativos, princípios teóricos de análise dos problemas como base para o processo de aprendizado, aprendizado interdisciplinar extrapolando as fronteiras e métodos das disciplinas, e por ser baseado no conhecimento prévio, expectativas e interesses dos estudantes (*Experience Learning*) (DE GRAAFF; KOLMOS, 2003; KOLMOS, 1996; PRINCE, 2004).

Expostas as características, no Quadro 7 está uma comparação dos métodos tradicionais de ensino com o Aprendizado Baseado em Problemas, de Kolmos (1996). Na comparação proposta, Kolmos (1996) destaca que a diferença se dá principalmente em aspectos de motivação e envolvimento dos alunos, que têm sua inclinação, interesses, curiosidade, experiência e responsabilidades respeitadas.

Quadro 7 - Comparação dos métodos tradicionais de ensino com Aprendizado Baseado em Problemas

TRADICIONAL	NOVO
1. Ser-lhe dado um problema profissional	1. Descobrir um problema profissional baseado na sua inclinação, interesse, experiência ou curiosidade
2. Aceitá-lo momentaneamente	2. Aceitá-lo seriamente como um problema a ser analisado e resolvido
3. Trabalhar focado na examinação	3. Trabalhar realisticamente
4. Aprender estruturação profissional	4. Estruturação profissional é conectada com inclinação pessoal, interesse, experiência ou curiosidade. Esse ciclo de reflexão cria conhecimento integrativo
5. Encerra com um exame	5. Encerra com ideias de como o conhecimento pode ser aplicado na prática

Fonte: Kolmos (1996) , tradução nossa.

Em De Graaff e Kolmos (2003), os autores reforçam na comparação o alto grau de envolvimento dos estudantes nas atividades de estudo, e a profundidade e complexidade do aprendizado, sendo que os estudantes atingem um nível de compreensão analiticamente complexa que não seria alcançado por meio dos métodos tradicionais.

Esta Subseção é encerrada ressaltando que, em um currículo de Aprendizado Baseado em Problemas, o estudante aprende a conduzir seu próprio processo de

aprendizado (DE GRAAFF; KOLMOS, 2003), fator importante quanto à se manter atualizado. Em Sheppard et al. (2006), os autores definem que a prática de engenharia é focada em resolver situações inesperadas por meio da aplicação de tecnologias já existentes, em desenvolvimento ou ainda nem imaginadas. Assim, é ressaltada a importância do desenvolvimento de habilidades de solução de problemas em futuros praticantes da profissão de engenharia, em um cenário caracterizado pela transição tecnológica da Indústria 4.0.

2.3 FÁBRICAS DE APRENDIZAGEM

Baseado na demonstrada eficácia de enriquecer palestras com experimentos de laboratório e atividades práticas, Fábricas de Aprendizagem foram originalmente desenvolvidas como instalações a serem utilizadas ao longo do currículo, de forma análoga à forma como alguém usa uma biblioteca. (ZIEMIAN; SHARMA, 2008).

Classificado em Ssemakula, Liao e Ellis (2010) como um dos conceitos de maior sucesso dentre esforços feitos para endereçar os problemas de falta de habilidades industriais entre recém-graduados em áreas de engenharia e tecnologia, o conceito das Fábricas de Aprendizagem, do inglês *Learning Factories*, foi desenvolvido a partir de uma subvenção de três anos concedida em 1994 pelas norte americanas *NSF – National Science Foundation* e *ARPA – Advanced Research Projects Agency*, através de um programa de reinvestimento em tecnologia, a um consórcio ou parceria liderado pela *Pennsylvania State University* (ABELE et al., 2015; LAMANCUSA et al., 2008). Além da universidade já citada, a parceria, dedicada a integrar projeto, manufatura e realidades corporativas na educação de engenheiros – classificada como singular em Lamancusa, Jorgensen e Zayas-Castro (1997) –, teve em sua composição mais duas universidades, *University of Puerto Rico-Mayaguez* e *University of Washington* (as três consideradas com fortes programas de engenharia), um conceituado laboratório governamental de alta tecnologia (*Sandia National Laboratories*) e mais de 100 parceiros corporativos representativos do universo industrial norte americano (LAMANCUSA, J.S., JORGENSEN, J.E., ZAYAS-CASTRO, 1997; LAMANCUSA et al., 2008). Nomeada como *MEEP – Manufacturing Engineering Education Partnership*, a parceria era motivada por três hipóteses: 1-de que aulas e palestras sozinhas não são suficientes para o ensino de manufatura; 2-de que estudantes se beneficiam de experiências práticas interativas; e 3-de que aprendizado experiencial baseado em

equipes envolvendo estudantes, docentes e com a participação da indústria enriquece o processo educacional; e provê benefícios tangíveis a todos os envolvidos (LAMANCUSA et al., 2008). A iniciativa teve como objetivo desenvolver, segundo Lamancusa, Jorgensen e Zayas-Castro (1997), um currículo baseado em atividades práticas, conduzido em instalações implantadas em cada uma das três universidades participantes, além de assegurar parcerias com indústrias, com outras instituições acadêmicas e com o governo.

Em resumo, a iniciativa objetivou o provimento de uma experiência educacional aperfeiçoada que enfatizasse a interdependência entre manufatura e projeto em um ambiente de negócios, e visionava estudantes implementando ideias, aprimorando habilidades e praticando engenharia em ambiente simulando instalações industriais de fato (LAMANCUSA, J.S., JORGENSEN, J.E., ZAYAS-CASTRO, 1997).

O desenvolvimento e implantação inicial de Fábricas de Aprendizagem considerou atendimento a demandas de três partes interessadas: estudantes, docentes e indústria. Segundo Lamancusa et al. (2008), os objetivos dos cursos foram desenvolvidos em um processo de forma a atingir consenso entre essas três partes interessadas. Do lado dos estudantes, a demanda era por formação mais completa, não apenas quanto a fundamentos teóricos, mas principalmente do ponto de vista prático. Docentes, dedicados a melhorar a eficácia de seu ensino, demandavam recursos e instalações para prover Aprendizado Ativo. Do ponto de vista da indústria, atacar a deficiência de engenheiros recém-formados visava evitar longos períodos de treinamento e adaptação dos mesmos às realidades industriais, de forma a tornarem-se plenos profissionais em menor tempo (LAMANCUSA, J.S., JORGENSEN, J.E., ZAYAS-CASTRO, 1997), demanda essa que se mantém latente nos dias atuais.

Em Jaeger et al. (2013) os autores ressaltam os problemas enfrentados por novos empregados devido à falta de experiências práticas e de habilidade de lidar com situações presentes na realidade das indústrias, e prosseguem ao requererem mudanças que possibilitem imediata transferência dos estudantes para situações realísticas, além de torná-los protagonistas do processo. Em Veza, Gjeldum e Mladineo (2015), os autores enfatizam a importância das competências dos funcionários para a sobrevivência das organizações ao reforçarem a necessidade de melhorias nas abordagens educacionais, usando as Fábricas de Aprendizagem como referência para tal, aplicadas aos futuros funcionários.

Inovações específicas alcançadas pela parceria que deu origem ao conceito de Fábricas de Aprendizagem são mencionadas em Lamancusa et al. (2008). Como resultados imediatos ou alcançados em curto prazo, em Lamancusa, Jorgensen e Zayas-Castro (1997) são citados a criação de quatro novas disciplinas e uma disciplina reformulada de projetos seniores que integra manufatura, projeto e aspectos empresariais, todos compondo uma nova opção de currículo relacionada ao desenvolvimento de produtos, resultando em graduados melhores preparados, educação de engenharia balanceada entre análise, projeto, processamento e integração, através de módulos de ensino orientados para a prática (LAMANCUSA, J.S., JORGENSEN, J.E., ZAYAS-CASTRO, 1997).

Também conhecidas como *Teaching Factories* e *Method Laboratory* na área de educação para engenheiros industriais (JAEGER et al., 2013), a sucinta definição de Fábricas de Aprendizagem de Kreimeier et al. (2014) menciona a sua orientação prática. Aspectos de trabalho em equipe, variada disponibilidade de ferramentas e recursos de informação, e atividades de solução de problemas aparecem na definição segundo Jaeger et al. (2013). Em Wagner et al. (2014), a definição aborda a integração, de forma didática, na simulação de ambientes de produção, dos mundos físico e digital. O balanceamento do conhecimento analítico e teórico por meio de experiências práticas é central na definição de Ziemian e Sharma (2008).

Em Abele et al. (2015), a definição de Fábricas de Aprendizagem é considerada a partir de dois pontos de vista, sendo eles sentido estrito e sentido amplo. Os autores ilustram esse conceito de definição a partir de três dimensões de duas classes cada, sendo elas o canal de comunicação entre os alunos (local / remoto), a cadeia de valor (virtual / real) e o produto manufaturado (serviço / físico), conforme demonstrado na Figura 8. A classificação de uma Fábrica de Aprendizagem no sentido estrito envolve produto físico, em cadeia de valor real com a completa aprendizagem local. A modificação de classe de cada uma das dimensões leva à classificação no sentido amplo.

Figura 8 - Distinção entre Fábricas de Aprendizagem no Sentido Estrito e Amplo

Fonte: Abele et al. (2015) , tradução nossa.

Em Wagner et al. (2012), os autores afirmam que muitas interpretações do termo já foram usadas, e consideram a definição a partir das duas palavras do termo, aprendizagem e fábrica. Segundo eles, o termo só poderia ser utilizado por sistemas que contivessem elementos de ambos, opinião compartilhada por Abele et al. (2015), que reforçam que a palavra aprendizagem, no termo, em oposição ao uso da palavra ensino, enfatiza a importância do aprendizado experimental, prático.

Em Kreimeier et al. (2014), a definição é estendida para Fábricas de Aprendizagem Holísticas, que resultam da integração de diferentes áreas em única Fábrica de Aprendizagem.

Lamancusa, Jorgensen e Zayas-Castro (1997) relacionam resultados esperados quanto à qualificação alcançada dos futuros profissionais, de forma a prepara-los para o Século 21. As características listadas, de forma geral, reforçam as bases da engenharia, a necessidade da prática e da constante atualização. As três últimas características (1. Trabalho em equipe; 2. Aptidão para comunicação oral, escrita e eletrônica; e 3. Motivação para aprendizado futuro) são explícitas ao reforçar a

importância dos *soft skills*. A característica relacionada à atualização quanto às atuais tecnologias e ferramentas é em especial relevantemente relacionada a esta dissertação de mestrado no que tange à aplicação da abordagem Fábricas de Aprendizagem para educação de futuros engenheiros quanto às tecnologias envolvidas no cenário da Indústria 4.0.

Competências dos estudantes e futuros engenheiros esperadas como resultantes da aplicação das Fábricas de Aprendizagem são também mencionadas em outros textos. Focar na capacidade dos estudantes de atuar de forma auto organizada em complexos ambientes de produção, também relacionada aos *soft skills*, é mencionada em Tisch et al. (2013). Conforme Tisch et al. (2013), todos os entrevistados em estudo conduzido com foco na validação do proposto Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem apontam como principal característica esperada a capacidade de atuação em situações reais. As expectativas expostas sobre os resultados esperados quanto à qualificação alcançada dos futuros profissionais são aderentes ao conceito de profissional reflexivo de Adams, Turns e Atman (2003), que é dotado de conhecimento incorporado de ação. A definição de praticante reflexivo segundo Schön (1983 apud ADAMS; TURNS; ATMAN, 2003) revela ênfase na definição do problema e no raciocínio e experimentação para levar à solução do mesmo.

Tisch et al. (2013) cita a cultura de melhoria contínua no chão de fábrica como beneficiada pelas Fábricas de Aprendizagem, e exalta as realizações das mesmas em comparação aos métodos tradicionais de formação. A comparação é também tratada em Lamancusa, Jorgensen e Zayas-Castro (1997) como fator de atração e retenção de estudantes que geralmente não são motivados ou estimulados pelos métodos tradicionais de formação. Em Sirinterlikci (2009), o autor relaciona os benefícios à exposição dos alunos a situações reais ou simulações das mesmas. Ao abordar ensino através de laboratório virtual, mas com resultados que podem ser alcançados através de Fábricas de Aprendizagem, Murphy, Gomes e Romagnoli (2002) citam a exposição dos alunos a análises em que alternativas são questionadas, como diferencial de aprendizagem. Possibilidades diferenciadas proporcionadas especificamente aos alunos de engenharia industrial são mencionadas em Jaeger et al. (2013). Em Schuh et al. (2015), que aborda características e tecnologias centrais da Indústria 4.0 como facilitadoras do processo, o aprendizado integrado ao trabalho é relacionado ao atingimento de competências não atingidas por outros métodos de formação.

A descrição das características das Fábricas de Aprendizagem na literatura enfatiza a proximidade ao realismo das configurações e exposição dos alunos a atividades práticas. Abele et al. (2015) faz uso dos termos ambiente de produção em conformidade com a realidade e alto grau de contextualização para a definição de processo e tecnologias instalados em Fábricas de Aprendizagem. Adicionam a introdução de cadeias de valor agregado flexíveis nas instalações como forma de simular todo o processo de criação de produtos. Tisch et al. (2013) cita como características a abordagem orientada para a prática e a aquisição de competências por meio de processo auto direcionado, o que envolve a integração de diferentes métodos de ensino para tornar o processo ensinar–aprender o mais próximo possível de problemas industriais reais. A diferenciação para fábricas reais aparece em Wagner et al. (2014), listando entre as limitações o tamanho físico, espaços e agrupamentos de máquinas, tipos e números de estações de trabalho incluídas e sistemas de movimentação de materiais. Em Borrego, Froyd e Hall (2010) são citados como potenciais benefícios o currículo integrado e a formação de conexões conceituais entre as disciplinas.

2.3.1 Morfologia de Fábricas de Aprendizagem

O assunto de classificação é inicialmente abordado pela característica de adaptabilidade requerida pelas instalações. Identificada em Tisch et al. (2013) como um importante requisito de projeto como forma de endereçar uma grande variedade de potenciais problemas, a característica de adaptabilidade é especificamente abordada em Wagner et al. (2012), texto focado em sistemas de manufatura adaptáveis e reconfiguráveis, no qual é proposto um esquema de classificação de Fábricas de Aprendizagem, ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Esquema de Classificação de Fábricas de Aprendizagem conforme Características de Adaptabilidade

Fonte: Wagner et al. (2012) , tradução nossa.

A partir do escopo ou contexto de fábrica de aprendizagem abordado, sendo adaptabilidade de sistemas de manufatura no exemplo tratado no texto, são definidas características específicas que no modelo de classificação atuam como agrupamentos. Para cada característica específica, considerando os ambientes Físico e suas esferas Sistema, Produto e Organização, e Ambiente Digital, com suas esferas Planejamento, Modelagem, Visualização e Ferramentas de Simulação, são então definidos parâmetros, interpretados como sendo os componentes de fato da Fábrica de Aprendizagem. Fazendo uso de uma tabela de decisão, o exemplo teve a definição de valores para os parâmetros de 1ª ordem realizada de forma binomial, atribuição de Verdadeiro ou Falso, respectivamente Disponível ou Indisponível, sendo a disponibilidade classificada como condição ideal. Cada parâmetro de 1ª ordem tem então seus valores ideais desdobrados em nova rodada de identificação de parâmetros e valores, com acréscimo de detalhes conforme a progressão das ordens, não necessariamente com a característica binomial, e com manutenção da regra de identificação da condição ideal para cada parâmetro. A Figura 10 ilustra um caso da prática do desdobramento, para o facilitador Compatibilidade, a partir do exemplo tratado em Wagner et al. (2012).

Figura 10 - Trecho da tabela de decisão para classificação de Fábricas de Aprendizagem

FACILITADORES DE MUDANÇA	PARÂMETROS DE 1ª ORDEM	VALORES DE PARÂMETROS DE 1ª ORDEM		PARÂMETROS DE 2ª ORDEM PARA "VERDADEIRO"	VALORES DE PARÂMETROS DE 2ª ORDEM	
Compatibilidade	Integração Software – Hardware	Verdadeiro	Falso	Tipo de integração	Sem fio	Com fio
	Controlador configurável / re-configurável	Verdadeiro	Falso	Feedback automático da topologia	Verdadeiro	Falso
	...	Verdadeiro	Falso	...	...	...

Fonte: Adaptado de Wagner et al. (2012) , tradução nossa.

Em Tisch et al. (2013), é proposta uma tipologia de classificação de Fábricas de Aprendizagem, demonstrada na Figura 11. Essa tipologia foi desenvolvida a partir dos resultados de uma pesquisa com dez universidades participantes da Iniciativa Europeia sobre as Fábricas de Aprendizagem, motivada para promover melhor entendimento sobre como as mesmas são configuradas. Em destaque na Figura 11 estão as características de projeto das atuais Fábricas de Aprendizagem conforme o uso, direcionamento e integração de todas as Fábricas de Aprendizagem participantes da pesquisa realizada.

Figura 11 - Tipologia de Fábricas de Aprendizagem

ATRIBUTO	CARACTERÍSTICA					
Organização da operação	Indústria	Consultoria	Universidade	Colégio Técnico	Escola profissional	
Tipo de uso	Educação / treinamento		Pesquisa		Outro uso industrial	
Grupo industrial foco	Pessoal operacional		Engenheiros		Gerentes	
Grupo acadêmico foco	Estudantes			Pessoal de pesquisa / pós graduados		
Outros grupos foco	Especialistas Lean			Outros consultores		
Indústrias selecionadas	Mecânica e de equipamentos e instalações	Automotiva	Química	Elétrica	Seguradoras, bancos, etc	
Produto	Produto real			Produto (didático) artificial		
Processo de produção	Usinagem	Montagem	Logística	TI	Indireto	Produção
Conteúdo do módulo	Processos improdutivos	Diagnóstico	Projeto de sistema		Controle da qualidade	
	Qualidade	Fluxo de material	Tecnologia de otimização		Transferência Lean	
Departamentos integrados	Produção	Distribuição	Compras	Gestão de Ideias	Projeto e Desenvolvimento	Planejamento e controle da produção
Métodos de ensino integrados	Apresentações	Demonstrações	Tutoriais	Treinamentos baseados na web		Jogos de simulação
	Discussões	Estudos de Caso	Encenações	Jogos experimentais		Células de aprendizagem

Fonte: Tisch et al. (2013) , tradução nossa.

Uma tipologia semelhante de descrição multidimensional é apresentada em Abele et al. (2015) como resultado do trabalho simultâneo entre o CIRP *Collaborative Work Group* e o Projeto Consórcio Rede de Fábricas de Aprendizagem Inovadoras (NIL –

consortia project Network of Innovative Learning Factories). A tipologia é baseada em sete dimensões, que são:

1. Modelo de Operação;
2. Finalidade e Metas;
3. Processo;
4. Configuração;
5. Produto;
6. Didática;
7. Métricas da Fábrica de Ensino.

De acordo com essa classificação, mais de 50 características de Fábricas de Aprendizagem podem ser classificadas. Segundo os autores, além de ser utilizada para classificação de Fábricas de Aprendizagem existentes, a nova classificação pode também ser usada para projeto de novas instalações. A Figura 12 ilustra uma seleção de algumas das sete dimensões, conforme exposto em Abele et al. (2015).

Figura 12 - Tipologia de Fábricas de Aprendizagem

Parte 1: Modelo de Operação Natureza de operação da instituição (acadêmica, industrial, etc); pessoal docente, financiamento	Figura 1 – Tipologia de Fábricas de Aprendizagem									
Parte 2: Finalidade e Metas Orientação estratégica da Fábrica de Aprendizagem, finalidade, grupos-alvo, constelação de grupo, indústrias-alvo, assuntos	Financiamento inicial	Financiamento interno			Financiamento público			Financiamento empresarial		
	Financiamento em curso	Financiamento interno			Financiamento público			Financiamento empresarial		
	Continuidade do financiamento	Curto prazo (ex.: eventos singulares)			Médio prazo (projetos e programas < 3 anos)			Longo prazo (projetos e programas > 3 anos)		
	Modelo de negócio para treinamento	Modelos abertos					Modelos fechados (Programas de treinamento apenas para companhias únicas)			
		Modelo Clube		Taxas de curso						
Parte 3: Processo Fases endereçadas, funções envisionedas, fluxo de material, tipo de processo, métodos e tecnologias de manufatura, etc.	Finalidade principal	Educação			Treinamento vocacional			Pesquisa		
	Finalidade secundária	Ambiente teste / piloto			Produção industrial			Anúncio para produção		
Parte 4: Configuração Ambiente de aprendizagem (físico, virtual), níveis do sistema de trabalho, integração de TI, mutabilidade da configuração	Ciclo de vida do produto	Planejamento do produto	Desenv. do produto	Projeto do produto	Prototip. rápida	Manufatura	Montagem	Logística	Serviço	Reciclagem
	Ciclo de vida da fábrica	Planejamento de investimento	Conceitos de fábrica	Planej. do processo	Aceleração				Manutenção	Reciclagem
Parte 5: Produto Número de diferentes produção, variações, tipo e forma do produto, origem do produto, uso adicional do produto, etc.	Ciclo de vida da ordem	Configuração e pedido	Sequenciamento do pedido		Planej. e agendamento da produção				Coleta, embalagem	Despacho
Parte 6: Didática Metas de aprendizagem, tipo de ambiente de aprendizagem (greenfield, brownfield), papel do instrutor, avaliação, etc.	Dimensões de aprendizagem objetivo	Cognitiva			Afetiva			Psicomotora		
	Estratégia de cenário de aprendizagem	Instrução			Demonstração		Cenário fechado		Cenário aberto	
Parte 7: Métricas da Fábrica de Aprendizagem Dados quantitativos como espaço físico, funcionários, número de participantes por treinamento, etc.	Tipo de ambiente de aprendizagem	Greenfield (desenvolvimento de ambiente de fábrica0					Brownfield (melhoria de ambiente de fábrica existente)			
	Canal de comunicação	Aprendizado no local (no ambiente da fábrica)					Conexão remota (para o ambiente da fábrica)			

Fonte: Abele et al. (2015) , tradução nossa.

Essa última tipologia de Abele et al. (2015), considerando seu detalhamento em Tisch et al. (2015), foi adotada como uma das principais referências para este trabalho, na qual é baseada a questão de pesquisa de número 1 e também o questionário de coleta de dados. Seu detalhamento em Tisch et al. (2015) é a base para uma plataforma

online de registro de informações de Fábricas de Aprendizagem (MAVRIKIOS et al., 2017).

O Quadro 8 apresenta uma síntese da literatura identificada quanto a esquemas de classificação de Fábricas de Aprendizagem.

Quadro 8 - Síntese da Literatura de Morfologia de Fábricas de Aprendizagem

Morfologia de Fábricas de Aprendizagem	Critério para adoção
Wagner et al. (2012) The state-of-the-art and prospects of learning factories	Direcionado para sistemas de manufatura adaptáveis e reconfiguráveis.
Tisch et al. (2013) A systematic approach on developing action-oriented, competency-based Learning Factories	Proposta de tipologia de classificação, resultado de pesquisa com dez universidades, porém com limitadas características para classificação.
Abele et al. (2015) Learning factories for research, education, and training	Abrangente proposta de classificação, dividida em sete dimensões e mais de cinquenta características, com relevância conferida por ser resultado do trabalho do CIRP e Projeto Consórcio NIL; direcionada para projeto de novas Fábricas de Aprendizagem e classificação de já existentes. é base de plataforma online para registro de informações de Fábricas de Aprendizagem ao longo do mundo.
Tisch et al. (2015) Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain	Apresenta de forma detalhada as dimensões e características originadas de Abele et al. (2015); é base de plataforma online para registro de informações de Fábricas de Aprendizagem ao longo do mundo.
Abele et al. (2017) Learning factories for future oriented research and education in manufacturing	Evidências de posterior utilização da proposta adotada.
Schuh et al. (2017) Classification of a Hybrid Production Infrastructure in a Learning Factory Morphology
Mavrikios et al. (2017) A Web-based Application for Classifying Teaching and Learning Factories	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de sintetizar a literatura, no Quadro 8 são expostos os resultados de análise da mesma, com exposição dos critérios para adoção de Tisch et al. (2015) como uma das principais referências desta dissertação de mestrado, base para a pesquisa relacionada à questão de número 1.

2.3.2 Abordagem sistêmica para implantação de Fábricas de Aprendizagem

O projeto de novas instalações de Fábricas de Aprendizagem é tratado em Tisch et al. (2013) com o propósito de oferecer uma abordagem sistêmica para tal. No texto, ao estabelecer como premissa que uma abordagem didática pedagógica seja a base de cada Fábrica de Aprendizagem, os autores propõem um Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem que orienta a implementação pelas competências a serem

desenvolvidas para públicos-alvo específicos e definidos. A proposta, que passou por revisão em Tisch et al. (2016) e é ilustrada através da Figura 13, define que as competências devem ser referência para a definição dos métodos e mídias de ensino, do processo de aprendizado intencionado, assim como da infraestrutura tecnológica envolvida (processo de manufatura e produto produzido). Considera dois principais passos de implementação, nomeados como 1ª Transformação Didática e 2ª Transformação Didática. A 1ª Transformação Didática tem como objetivo a definição das competências intencionadas (e respectiva base de conhecimento necessária), que podem ser diferenciadas em quatro classes distintas: 1-especializadas e metodológicas (principal foco das Fábricas de Aprendizagem); 2-pessoais; 3-orientadas para a prática e aplicação, e 4-social-comunicativas. Se dá através da definição do ambiente organizacional, dos objetivos organizacionais e do público-alvo. A 2ª Transformação Didática parte das competências intencionadas e definidas na 1ª Transformação Didática, para a definição do(s) processo(s) de manufatura e consequentemente do(s) produto(s) produzido(s), assim como dos métodos e mídias de ensino e processo de aprendizagem intencionado.

É enfatizada pelos autores a diferença do método proposto quanto a primeiro estabelecer as competências intencionadas para depois definir o produto manufaturado e respectivo processo de manufatura. Também sugerem a preferência por processos de manufatura contínuos ao invés de produção e itens unitários ou singulares.

A proposta inicial do guia (TISCH et al., 2013) foi validada através de estudo de casos múltiplos, entrevistas semiestruturadas e pesquisa qualitativa baseada em observações nos locais. Elementos fundamentais de sua evolução (TISCH et al., 2016) foram avaliados por especialistas como abrangendo os fatores que influenciam o planejamento e implantação de Fábricas de Aprendizagem orientado a objetivos. Ao relacionar os principais resultados da aplicação do guia proposto, os autores mencionam projeto de ensino orientado por competências, levando em consideração aspectos didáticos (TISCH et al., 2013).

Figura 13 - Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem

Fonte: Tisch et al. (2016) , tradução nossa.

Além de promover revisão no fluxo do Guia Curricular, em Tisch et al. (2016) o projeto e implantação de Fábricas de Aprendizagem passou a ser considerado em três níveis, nomeados como 1-Macro (Fábrica de Aprendizagem), 2-Intermediário (Módulos de Ensino) e 3-Micro (Situações de Aprendizagem). O primeiro nível abrange o projeto da infraestrutura como um todo. O segundo nível parte da infraestrutura existente e abrange o projeto do curso ou de módulos de ensino, incluindo a definição de sequências de ensino-aprendizagem. A partir do segundo nível, as competências pretendidas são desdobradas, sendo apresentado no texto um exemplo de tabela de transformação de competências. O terceiro nível trata do projeto de situações de ensino-aprendizagem específicas.

Com relação à sequência linear estabelecida pela Figura 13, em Tisch et al. (2016) é considerado que Fábricas de Aprendizagem podem ser desenvolvidas de forma iterativa, inclusive entre os três níveis de projeto e implantação. Porém, deve ser assegurada a compatibilidade entre os objetivos de aprendizado e todas as demais definições.

De forma análoga ao Quadro 8, o Quadro 9 apresenta uma síntese da literatura identificada quanto a abordagem sistêmica para implantação de Fábricas de Aprendizagem.

Quadro 9 - Síntese da Literatura de Abordagem Sistêmica para o Desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem

<u>Abordagem Sistêmica para o Desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem</u>	<u>Critério para adoção</u>
Tisch et al. (2013) A systematic approach on developing action-oriented, competency-based Learning Factories	Proposta inicial do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem, orientando a implantação por competências.
Tisch et al. (2016) Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels.	Revisão do Guia inicial, com consideração do projeto e implantação dividido em três níveis

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016) foi também adotado como uma das principais referências para esta dissertação de mestrado, base para a pesquisa relacionada à questão de número 2, para o questionário de coleta de dados e para a codificação e análise dos dados coletados no estudo de caso. Na literatura foram identificados textos interpretados como complementos ao Guia, tratados na Subseção 2.2.3.

2.3.3 Complementos ao Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem

Um dos aspectos a ser considerado no projeto de novas instalações diz respeito a parcerias. Como já mencionado na Seção 2.3 Fábricas de Aprendizagem, a parceria que participou do desenvolvimento do conceito original das Fábricas de Aprendizagem contou com participação de um conceituado laboratório governamental de alta tecnologia e de mais de 100 parceiros corporativos representativos do universo industrial norte americano. Em Lamancusa, Jorgensen e Zayas-Castro (1997), os autores definem que a parceria precisa ser benéfica tanto para a academia quanto para a indústria, e listam os formatos de contribuição dos parceiros, assim como dos benefícios alcançados pelos mesmos. Em Lamancusa et al. (2008), que define a parceria como elemento chave do sucesso e sustentabilidade das Fábricas de Ensino, é mencionado que a eficácia e relevância das Fábricas de Ensino originais são continuamente avaliadas por um conselho consultivo das indústrias, sendo objeto de melhoria por parte do mesmo.

A importância de existir cada vez mais diálogo entre academia e indústrias de manufatura, conforme reportado em Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) com vistas a que os requisitos da economia digital sejam refletidos na provisão de treinamentos, é mais uma evidência da importância da parceria. Em Faller e Feldmüller (2015), há

declaração explícita de que para prover conhecimentos sobre aspectos da Indústria 4.0, é necessário um novo currículo na formação de engenheiros.

Três textos relacionados a parcerias, componente da etapa Ambiente Organizacional do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016), foram identificados na literatura. Veza, Gjeldum e Mladineo (2015) detalha a importância da parceria das Fábricas de Ensino, não apenas com a indústria, mas nesse caso também com governos. Segundo os autores, que citam o modelo Hélice Tripla de Colaboração Universidade-Indústria-Governo (ETZKOWITZ, 2002 apud VEZA; GJELDUM; MLADINEO, 2015), as Fábricas de Ensino são o elo faltante entre universidade, governo e indústria, conforme ilustrado na Figura 14. Em Weeber et al. (2016), é proposta cooperação entre diferentes Fábricas de Aprendizagem como forma de superar restrições de recursos e espaço de instalações singulares. Em Ziemian e Sharma (2008), a proposta é por busca de parcerias interdepartamentais.

Figura 14 - Fábrica de Aprendizagem como Link Faltante no Modelo Hélice Tripla

Fonte: Veza, Gjeldum, Mladineo (2015) , tradução nossa.

Ainda relacionado a parcerias e interpretado como componente da etapa Objetivos Organizacionais do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016), Enke, Tisch e Metternich (2016) apresentam o desenvolvimento de

abordagem metodológica para identificar requisitos dos diferentes *stakeholders* de Fábricas de Aprendizagem, considerados seus operadores, corpo docente e discente, e seus funcionários.

A etapa de Competências Pretendidas do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016) é de extrema importância no Guia Curricular, e dois textos foram identificados na literatura envolvendo aspectos de desdobramento de competências para módulos de aprendizagem, opcionais ao exemplo apresentado em Tisch et al. (2016). Em Enke, Kraft e Metternich (2015), é apresentado o desenvolvimento de instrumento para a transformação de competências com vistas ao desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem orientadas por competências. Em Müller-Frommeyer et al. (2017), é introduzido um modelo de competências para estudantes em Fábricas de Aprendizagem.

Os demais textos identificados como complementos ao Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem são relacionados à infraestrutura sociotécnica. Wagner et al. (2014b), identificado como uma evolução de Wagner et al. (2014a), é baseado em revisão de abordagens existentes para desenvolvimento de produtos com vistas à proposição de abordagem de desenvolvimento de produtos para Fábricas de Aprendizagem adaptáveis, mas também válido para instalações não dedicadas à característica de adaptabilidade. Segundo os autores, o produto a ser manufaturado ou montado em uma Fábrica de Aprendizagem deve promover maximização do uso das instalações com respeito às suas limitações, demonstrando a maior quantidade de objetivos de aprendizagem possíveis.

Desenvolvidos com a função de pesquisas relevantes para a indústria, assim como para atividades de ensino, de forma a representar produtos reais de indústrias, o desenvolvimento dos produtos para Fábricas de Aprendizagem é considerado por Wagner et al. (2014b) como um desafio. A abordagem proposta por eles para conduzir o desenvolvimento de forma sistêmica é exposta no Quadro 10.

Dos três pressupostos para o desenvolvimento declarados por Wagner et al. (2014b), dois deles deixam claro que a proposta é direcionada a desenvolver produtos para instalações já existentes; porém, a sequência de fases e atividades é adequada a ser considerada como complemento ao Guia da Figura 13, no desenvolvimento de novas instalações. Destaque é dado para a consideração de princípios de desmontagem do produto, como forma de assegurar seu efetivo uso para atividades de pesquisa e ensino.

Quadro 10 - Abordagem para desenvolvimento de produtos para Fábricas de Aprendizagem Adaptáveis

FASE 1: INVESTIGAR O SISTEMA EXISTENTE E DETERMINAR OS OBJETIVOS DE USO
1.1 Investigar as capacidades da Fábrica de Aprendizagem (características técnicas, processos, fluxos e operações de materiais)
1.2 Determinar objetivos do sistema (ensino e pesquisa sob consideração baseados no estado da arte)
FASE 2: ESPECIFICAR REQUISITOS E COMPILAR IDEIAS PARA NOVOS PRODUTOS
2.1 Estabelecer requisitos para o novo produto (deduzir a partir da fase 1 e determinar novos requisitos)
2.2 Estabelecer requisitos para o processo de manufatura e configurações de layout (deduzir a partir da fase 1 e determinar novos requisitos)
2.3 Compilar ideias para novos produtos (listar opções de novos produtos viáveis e prover breve descrição)
FASE 3: ESTABELECEER ESTRUTURA DO PRODUTO E PRÉ-SELECIONAR NOVOS PRODUTOS VIÁVEIS
3.1 Estabelecer estrutura do produto (identificar, descrever e representar estruturas do produto e compilar listas de peças)
3.2 Selecionar novos produtos viáveis (avaliar opções de produto com relação aos objetivos de 1.2 e requisitos de 2.1 e 2.2)
FASE 4: ESTABELECEER PROJETO DO PRODUTO E DO PROCESSO, E CONFIGURAÇÕES DE LAYOUT
4.1 Selecionar novo produto (definir e rascunhar peças do produto, processo e variações de layout, avaliar opções do produto)
4.2 Projetar o novo produto e especificar processo e configurações de layout (modelar variações do produto, processo e layout)
FASE 5: PREPARAR MANUFATURA DO PRODUTO, MANUFATURAR E TESTAR O NOVO PRODUTO
5.1 Preparar a manufatura do produto (decidir quais peças vão ser produzidas (incluindo preparação de plano de trabalho) e quais vão ser compradas)
5.2 Manufaturar o novo produto nas instalações da fábrica de aprendizagem (também peças compradas correspondentes a 5.1)
5.3 Testar o novo produto (fabricar ou montar variações do produto e validar os processos e layout relacionados)

Fonte: Wagner et al. (2014b) , tradução nossa.

Em Elmaraghy et al. (2017), os autores demonstram, também dedicados a Fábricas de Aprendizagem adaptáveis, as etapas necessárias à introdução de famílias de produtos em Fábricas de Aprendizagem existentes, porém o fluxo apresentado foi considerado não tão abrangente ao proposto em Wagner et al. (2014b).

O desenvolvimento do produto a ser produzido na Fábrica de Aprendizagem passa pela decisão da fabricação de fato de componentes pelos alunos. Em especial quanto a essa decisão, em Ssemakula, Liao e Ellis (2010), há opinião favorável a incluir a real manufatura de componentes no programa. Entretanto, resultados de entrevistas envolvidas com esse trabalho revelam desinteresse por parte dos alunos, que afirmam não achar que o tipo de máquina aplicado nas disciplinas abordadas nas entrevistas seria encontrado na futura vida profissional. Opinião mais enfática relacionada à essa

decisão é encontrada em Ziemian e Sharma (2008), contrários a fabricação de peças por estudantes, que afirmam serem favoráveis ao desenvolvimento de entendimento sobre a capacidade do processo e de suas limitações e benefícios, mas não de treinar os estudantes a dominar operação de máquinas.

Dois outros textos tratam da configuração da infraestrutura sociotécnica das Fábricas de Aprendizagem como um todo. Wagner et al. (2012) trata da configuração de Fábricas de Aprendizagem Adaptáveis, com apresentação de esquema de classificação já abordado na Subseção 2.3.1. Em Tisch et al. (2017), os autores apresentam uma abordagem estruturada para configuração do sistema técnico de Fábricas de Aprendizagem que, baseada no Guia Curricular, considera os objetivos de aprendizagem.

Um texto adicional foi identificado com proposta de um modelo de maturidade de Fábricas de Aprendizagem (ENKE; GLASS; METTERNICH, 2017), com aplicação interpretada como geral ao Guia Curricular, porém não adotado como componentes deste trabalho por carecer de validação prévia, conforme declarado no próprio texto. A aplicação do mesmo será considerada como sugestão para futuras pesquisas.

Em adição ao Quadro 9, o Quadro 11 apresenta uma síntese da literatura identificada de forma a complementar a abordagem sistêmica para implantação de Fábricas de Aprendizagem adotada para esta dissertação de mestrado.

Como resultado da Seção 2.3 Fábricas de Aprendizagem, a Figura 15 demonstra o formato do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem aplicado a esta dissertação de mestrado, como base para o estudo de caso.

Quadro 11 - Síntese da Literatura de complementos ao Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem

	<u>Critério para adoção</u>
• <u>Cooperação Governo – Indústria - Universidade</u>
Veza; Gjeldum; Mladineo (2015) Lean Learning Factory at FESB – University of Split	Identificado como diretamente relacionado à etapa Ambiente Organizacional, quanto à formação de parcerias.
• <u>Cooperação entre diferentes Fábricas de Aprendizagem</u>
Weeber et al. (2016) Extending the Scope of Future Learning Factories by Using Synergies Through an Interconnection of Sites and Process Chains	Identificado como diretamente relacionado à etapa Ambiente Organizacional, quanto à formação de parcerias.
• <u>Parcerias interdepartamentais</u>
Ziemian e Sharma (2008) Adapting learning factory concepts towards integrated manufacturing education	Identificado como diretamente relacionado à etapa Ambiente Organizacional, quanto à formação de parcerias.
• <u>Identificação de requisitos de stakeholders</u>
Enke; Tisch; Metternich (2016) Learning Factory Requirements Analysis- Requirements of Learning Factory Stakeholders on Learning Factories	Também relacionado a parceiras, foi identificado como diretamente relacionado à etapa Objetivos Organizacionais.
• <u>Desdobramento de competências para módulos de aprendizagem</u>
Enke; Kraft; Metternich (2015) Competency-oriented design of learning modules	Textos com propostas de desdobramento de competências opcionais ao texto do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem.
Müller-Frommeyer et al. (2017) Introducing Competency Models as a Tool for Holistic Competency Development in Learning Factories: Challenges, Example and Future Application	
• <u>Produtos para a Fábrica de Aprendizagem</u>
Wagner et al. (2014a) Product family design for changeable learning factories	Texto preliminar ao texto Wagner et al. (2014b).
Wagner et al. (2014b) Developing products for changeable learning factories	Diretamente relacionada ao desenvolvimento de produtos para Fábricas de Aprendizagem; revisão do texto Wagner et al. (2014a), interpretado como mais abrangente que ElMaraghy, Moussa, ElMaraghy, & Abbas (2017).
ElMaraghy, Moussa, ElMaraghy, & Abbas (2017) Integrated Product / System Design and Planning for New Product Family in a Changeable Learning Factory	Considerado como menos abrangente ao texto Wagner et al. (2014b).
• <u>Configuração da infra estrutura sócio-técnica</u>
Wagner, AlGeddawy, ElMaraghy, & Müller (2012) The state-of-the-art and prospects of learning factories	Relacionados diretamente à configuração da infraestrutura sócio técnica como um todo.
Tisch, Laudemann, Kreß, & Metternich (2017) Utility-based Configuration of Learning Factories Using a Multidimensional, Multiple-choice Knapsack Problem	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem Aplicado ao Estudo

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2016) , tradução nossa.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Um crescente reconhecimento do método de pesquisa de estudo de caso é reportado em Yin (2015), com base em comparação com outros três termos concorrentes: pesquisa de levantamento de dados, projetos experimentais e atribuição aleatória. Segundo o autor, baseado na frequência em que o termo apareceu em publicações de acordo com estimativa para anos aproximadamente coincidentes entre a primeira e a quinta edição de seu livro, a frequência de pesquisas embasadas nesse método é ascendente em comparação a outros métodos, apesar de ainda inferior em números acumulados.

Em Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), os autores destacam o poder do método de estudo de caso na pesquisa em gestão de operações, relacionando ao mesmo importantes novos conceitos e teorias, como por exemplo a manufatura enxuta. Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) mencionam chamado de pesquisadores por maior aplicação de métodos de pesquisa baseados em campo ao lidar com aspectos contemporâneos de tecnologia e métodos gerenciais.

Esta dissertação de mestrado se propõe a estudar um evento em curso, qual seja a implementação da Fábrica do Futuro 4.0 USP, dedicada às tendências da manufatura atual abordadas na Seção 2.1. A relação entre o tipo da pesquisa proposta e o método de estudo de caso é mencionada na literatura.

Em Eisenhardt (1989), a autora justifica a aplicação do estudo de caso para pesquisa de novidades em assuntos já pesquisados, para novos temas em seus estágios iniciais de pesquisa, e para a provisão de descrição.

Miguel (2012) relaciona o estudo de caso ao endereçamento de lacunas identificadas na literatura e ressalta seu poder para investigações exploratórias, assim como para o provimento de entendimento de eventos reais e contemporâneos.

Yin (2015) relaciona o uso do método de estudo de caso a condições em que o pesquisador tem pouco ou nenhum controle sobre eventos comportamentais, estudo de eventos contemporâneos e explicação de circunstâncias presentes. Considera a aplicação adequada para situações relacionadas a perguntas “Como?” e “Por quê?”. Ao definir o método, Eisenhardt (1989) o considera apto para o entendimento da dinâmica em configurações singulares.

A definição de Miguel (2012) considera o método de estudo de caso para investigação em contexto real contemporâneo por análise aprofundada de um ou mais casos,

chamados de objetos de análise, e considera que as fronteiras entre o fenômeno e seu contexto não são claramente definidas.

A definição de Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) inclui a questão temporal (passado ou presente), e as múltiplas fontes de evidências que podem ser consideradas, desde observações diretas e entrevistas sistemáticas até qualquer fato relevante para o fluxo dos eventos descrevendo o fenômeno.

Yin (2015) considera a definição de estudo de caso em duas partes, uma focada em seu escopo, e a outra em suas características, como forma de mostrar a abrangência da pesquisa de estudo de caso:

1. O estudo de caso é uma investigação empírica que
 - investiga um fenômeno contemporâneo (o "caso") em profundidade e em seu contexto de mundo real, especialmente quando
 - os limites entre o fenômeno e o contexto puderem não ser claramente evidentes.
2. A investigação do estudo de caso
 - enfrenta a situação tecnicamente diferenciada em que existirão muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados, e, como resultado
 - conta com múltiplas fontes de evidências, com os dados precisando convergir de maneira triangular, e como outro resultado
 - beneficia-se do desenvolvimento anterior das proposições teóricas para orientar a coleta e a análise de dados. (YIN, 2015, p. 17-18,).

O propósito desta dissertação de mestrado se mostra aderente ao conteúdo das definições apresentadas, por se tratar de um evento singular e atual, em contexto real, analisado em profundidade por meio de múltiplas fontes de evidência.

Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) e Yin (2015) enfatizam a importância de rigor metodológico em todos os passos da pesquisa e aderência a procedimentos como forma de conferir relevância aos resultados. Em texto dedicado à proposta de processo de construção de teoria a partir de estudo de caso, Eisenhardt (1989) estabelece um roteiro de estudo de caso baseado em uma tabela com a descrição dos passos, atividades e razões para sua realização. Um fluxograma é apresentado em Miguel (2012), como proposta de conteúdo e sequência para a condução de estudos de caso. O processo de Yin (2015), baseado na Figura 16, foi julgado apropriado para utilização nesta dissertação de mestrado por seu maior detalhamento, conteúdo e clareza quanto à divisão das etapas, e foi portanto adotado para tal. Em complemento ao mesmo, ao definir o formato do relatório do estudo de caso, foram considerados os tipos de pesquisa de Blessing e Chakrabarti (2009).

Figura 16 - Processo linear e iterativo de estudo de caso

Fonte: Yin (2015).

As seções numeradas de 3.1 a 3.6, na sequência, apresentam aspectos da literatura originados e intitulados a partir do método adotado, e complementados por textos aderentes ao mesmo, assim como descrições das práticas de fato aplicadas à esta dissertação de mestrado.

3.1 PLANO DO ESTUDO DE CASO

A etapa de Plano do Estudo de Caso do processo adotado é caracterizada principalmente pela exposição de características do método como embasamento para sua adoção. Dentre as características, são abordadas nesta Seção 3.1 os tipos de evidências que podem ser consideradas na condução do método, as finalidades de pesquisa e formatos de questões atacadas, pontos positivos, negativos, limitações, desafios e preocupações na condução do método.

Em Yin (2015), o autor aborda a possibilidade de utilizar estudos de casos fazendo uso tanto de evidências qualitativas quanto quantitativas, sendo a primeira opção característica desta dissertação de mestrado, e para explicar circunstâncias presentes, o que no caso desta dissertação de mestrado se trata do objeto de estudo, evento em curso de implementação da Fábrica do Futuro 4.0 USP. Em tabela na qual expõe situações relevantes para diferentes métodos de pesquisa, relacionam o método ao formato de questões “Como?” e “Por quê?”. Voss, Tsikriktsis e Frohlich

(2002) afirmam que estudos de casos podem ser utilizados para diferentes finalidades de pesquisa – Exploração, Construção de Teoria, Teste de Teoria e Extensão / Refinamento de Teoria – e propõem uma tabela baseada em FINALIDADE, QUESTÃO DE PESQUISA e ESTRUTURA DE PESQUISA, com a aderência a esta dissertação de mestrado. Um extrato da tabela de Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) é apresentado no Quadro 12, com foco na finalidade de Exploração.

Quadro 12 - Correspondência entre finalidade de pesquisa e metodologia

FINALIDADE	QUESTÃO DE PESQUISA	ESTRUTURA DE PESQUISA
Exploração Revelar áreas de pesquisa e desenvolvimento teórico	Há alguma coisa suficientemente interessante para justificar pesquisa?	Estudos de caso aprofundados

Fonte: Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) , tradução nossa.

Pontos positivos e negativos da metodologia são comentados na literatura e servem como base, após adoção da mesma, para desenvolvimento das próximas etapas. Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) ressaltam a possibilidade do estudo de caso levar a novas e criativas perspectivas e ao desenvolvimento de novas teorias devido à sua característica de não ser limitado a rígidos questionários, isto é, de ser flexível. Adicionam o aumento da validade por meio da triangulação de múltiplas fontes de evidências, o enriquecimento dos pesquisadores devido à exposição dos mesmos a problemas reais, à perspectivas criativas de pessoas de todos os níveis de organizações e ao variado contexto dos casos. Os autores também citam três pontos fortes mencionados em Meredith (1998), que envolvem o estudo no cenário natural e observação de práticas reais, obtenção de respostas a questões “Por Quê?”, “O Quê?” e “Como?”, e a possibilidade de antecipadas investigações exploratórias.

Dentre os pontos fortes mencionados em Eisenhardt (1989), destaca-se o fato de os estudos de casos não serem limitados por preconceitos do pesquisador, serem menos suscetíveis a tendências, e o fato provável de que as teorias resultantes serem empiricamente válidas. Yin (2015) afirma que os estudos de casos não precisam levar muito tempo para a sua conclusão.

Como pontos negativos, Eisenhardt (1989) menciona que o intensivo uso de evidências empíricas pode levar à complexidade e que teorias limitadas e idiossincráticas podem resultar da pesquisa. Miguel (2012) cita possíveis críticas em função de limitações metodológicas no processo como um todo – da escolha do caso até a geração de conclusões suportadas pelas evidências. Acrescenta que a

condução pode envolver limitações de acesso a dados e informações, pode acarretar em excessivo consumo de tempo e não ser conduzido necessariamente em tempo real.

Dentre os desafios citados por Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), aparecem também as preocupações quanto ao consumo de tempo e geração de conclusões generalizáveis a partir de um número reduzido de casos, além da necessidade de pesquisadores habilitados e necessidade de assegurar rigor na pesquisa. Como preocupações na condução, além dos aspectos rigor e a geração de conclusões generalizáveis, Yin (2015) acrescenta a necessidade de seguir procedimentos, evitar confusões com casos de ensino, gestão cuidadosa do nível de esforço e compreensão da vantagem comparativa da pesquisa de estudo de caso.

3.2 PROJETO DO ESTUDO DE CASO

A etapa de Projeto do Estudo de Caso partiu da consideração de informações a respeito do tipo de caso adotado, ou seja, estudo de caso único Tipo 1 conforme matriz para classificação de projetos para estudos de caso (YIN, 2015), exposta na Figura 17.

Na sequência, Yin (2015) apresenta cinco justificativas para adoção de casos únicos – Primeira: Por criticidade; Segunda: Por Peculiaridade ou Caso Extremo; Terceira: Caso Comum; Quarta: Caso Revelador; e Quinta: Caso Longitudinal. Miguel (2012) também menciona como situações para caso único opções aderentes às justificativas quarta e quinta de Yin (2015), além de casos exploratórios. Das cinco possíveis justificativas para adoção de caso único, o foco desta dissertação de mestrado pode ser encaixado na segunda, por peculiaridade, ao estudar caso com desvio das ocorrências diárias, e na quarta, por ser caso revelador, antes não acessível à investigação.

Figura 17 - Tipos básicos de projeto para estudos de caso

Fonte: Adaptado de Yin (2015) , tradução nossa.

Como pontos positivos dos casos únicos são mencionados um maior aprofundamento da pesquisa e maior riqueza na coleta de dados (MIGUEL, 2012; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Porém, ambos os textos colocam a limitação do grau de generalização do caso único como limitação da opção, comprometendo a validade externa do estudo.

Após definição do tipo de estudo de caso a ser seguido, foi conduzido um contato inicial (MIGUEL, 2012) com um informante imbuído de autoridade e responsabilidade para autorizar a condução da pesquisa e direcionar os próximos passos, função assumida pelo orientador desta dissertação de mestrado, responsável pelo projeto de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP.

O contato inicial foi utilizado também com o propósito de definição do foco de pesquisa (EISENHARDT, 1989; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002; YIN, 2015) e delimitação da unidade de análise e seleção do caso (MILES; HUBERMAN, 1994; YIN, 2015). Definido por amostragem teórica (EISENHARDT, 1989; MIGUEL, 2012) não somente devido à oportunidade estratégica de momento de implantação (MIGUEL, 2012), a documentação do processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP de acordo com o roteiro proporcionado pelas questões de pesquisa (classificação, descrição e recomendações) tem sua relevância engrandecida se considerado o seguinte aspecto para seleção: Implantação conduzida por docente e

discentes integrantes de linha de pesquisa em comum com esta dissertação de mestrado. A seleção do caso de acordo com esses aspectos vai de encontro à segunda e quarta justificativas de Yin (2015) para estudos de caso únicos, considerando-se o caso escolhido como peculiar e revelador, respectivamente.

No contato inicial foi também feito consenso sobre o direcional para uma primeira definição das questões de pesquisa, um dos componentes de um projeto de estudo de caso definidos em Yin (2015), classificado pelo autor como extremamente importante, e em Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) como ponto de partida para o estudo de caso.

Outro importante consenso decidido no contato inicial foi quanto à utilização da ferramenta Caso Pré-Estruturado (MILES; HUBERMAN, 1994). De uso sugerido em casos em que o tempo de condução do projeto é limitado e as questões de pesquisa estão bem definidas, é utilizado como forma de focar e simplificar a coleta de dados e sua análise, tornando-a rápida e enxuta e levando a resultados confiáveis. A partir de sua adoção, inicia-se por um esboço do caso, desenvolvido antes da coleta de qualquer dado, o que permite ao pesquisador identificar o que é necessário e onde se quer chegar, coletando assim apenas os dados necessários. Folhas de coleta e de sumário de dados foram então definidos antecipadamente. O esboço do estudo de caso foi, a partir de sua definição inicial, revisado por debates originados a partir das recomendações da Avaliação de Qualificação.

A definição das questões de pesquisa e suas revisões, após o consenso do contato inicial, partiu das formas de questões de pesquisa sugeridas por Yin (2015) e teve como referência as lacunas de conhecimento registradas na Seção 1.3. As questões foram também revisadas por debates originados a partir das recomendações da Avaliação de Qualificação, condição considerada como pertinente a estudos de casos (EISENHARDT, 1989; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). As questões de pesquisa em seu formato final encontram-se registradas na Seção 1.4 Objetivos.

A identificação da teoria relevante sobre o que está sendo estudado é considerado por Yin (2015) como parte do projeto do estudo de caso. Segundo o autor, a pesquisa da teoria antes da coleta de dados proporciona direção dos dados a serem coletados e das estratégias de análise a serem aplicadas. A importância da consideração da literatura existente durante a condução de estudos de caso é também enfatizada em Eisenhardt (1989) e em Miguel (2012). A Revisão de Literatura para esta dissertação

de mestrado foi guiada pelo Sumário definido no Caso Pré-Estruturado e encontra-se descrita no Capítulo 2.

O formato do relatório de estudo de caso é tratado na Seção 3.6 Compartilhamento, mas Miles e Huberman (1994) e Yin (2015) sugerem que sua identificação dentre as alternativas seja considerada já na etapa de projeto, e considerada como parte do protocolo do estudo de caso tratado na Seção 3.3 Preparação para Coleta de Dados. Além disso, Miles e Huberman (1994) colocam também alternativas para decisão quanto à estrutura ilustrativa geral para a composição do estudo de caso, decisão que deve ser conjunta ao formato do relatório.

Em aderência ao projeto de estudo de caso, o formato de relatório planejado é de estudo de caso único, de projeto holístico (YIN, 2015). Das seis opções de estrutura composicional sugeridas em Yin (2015), a Estrutura Analítica Linear, considerada abordagem padrão para composição de relatórios de pesquisa e a mais vantajosa quando o público do relatório pode consistir de uma banca de dissertação, caso desta dissertação de mestrado, complementa a identificação do tipo de composição do relatório.

A consideração de aspectos de validade e confiabilidade do estudo de caso é também parte componente de seu projeto (YIN, 2015). De acordo com o processo de estudo de caso proposto em Yin (2015) e adotado para esta dissertação de mestrado, aspectos de validade e confiabilidade devem ser perseguidos desde a etapa de projeto, até a composição do relatório. A partir de tabela com táticas de estudo de caso para alcançar validade e confiabilidade, proposta por Yin (2015) conforme as fases do estudo de caso, os aspectos foram atendidos nesta dissertação conforme exposto no Quadro 13.

Quadro 13 - Plano de aspectos de validade e confiabilidade do estudo de caso

	PROJETO	COLETA DE DADOS	ANÁLISE	COMPOSIÇÃO DO RELATÓRIO
VALIDADE DO CONSTRUCTO	--	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de múltiplas fontes de evidência. • Planejado conforme Caso Pré-Estruturado-Plano de Coleta de Dados (Anexo A). 	--	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de informantes-chave para a revisão do rascunho do relatório do estudo de caso. • Característica desta dissertação de mestrado, função a cargo do Orientador de mestrado.
VALIDADE INTERNA	--	--	Classificação e descrição do caso estudado a partir do padrão da literatura definido na Seção 2.3.	--
VALIDADE EXTERNA	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de teoria prévia. • Requisito do projeto e tratada no Capítulo 2. 	--	--	--
CONFIABILIDADE	--	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de protocolo de estudo de caso. • Preparado no Capítulo 3- Preparação para Coleta de Dados. • Desenvolver uma base de dados do estudo de caso. • Tratado no Capítulo 4- Coleta de Dados. 	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Yin (2015).

3.3 PREPARAÇÃO PARA A COLETA DE EVIDÊNCIA DO ESTUDO DE CASO

Um dos primeiros cuidados adotados na preparação para a coleta de dados foi o de proteção aos sujeitos humanos (YIN, 2015). Conforme acordado no contato inicial e em posteriores debates com o orientador desta dissertação, a identificação nominal dos entrevistados e/ou fornecedores de evidências, assim como de parceiros do projeto de implantação, está limitada à base de dados do estudo, não havendo identificação nominal dos mesmos neste relatório de estudo de caso. A participação dos mesmos foi de forma voluntária por classificar esta pesquisa como parte do processo de implantação do objeto de estudo, a Fábrica do Futuro 4.0 USP.

Adicionalmente, foi da mesma forma estabelecida a seleção dos entrevistados, de forma a assegurar imparcialidade na seleção entre os grupos representados (docentes e discentes).

O processo de estudo de caso adotado tem por característica a iteratividade. Yin (2015) cita que poucos estudos de caso terminam exatamente como o planejamento inicial, sendo passíveis de mudanças ou replanejamentos. Eisenhardt (1989) também menciona constante iteração entre as etapas. Porém, essa flexibilidade do método não é uma licença para não ser sistemático, o que exige cuidado para permanecer de acordo com os procedimentos adotados para o projeto. Yin (2015) reforça a importância da necessidade de manter uma noção clara dos assuntos em estudo, fato que pode reforçar a iteratividade com aderência aos procedimentos.

Com importância e características tratadas também em Miguel (2012) e em Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), e classificado por Yin (2015) como eficaz na consideração do aumento da confiabilidade e destinado a orientação da coleta de dados de um caso único, o Protocolo do Estudo de Caso foi adotado como ferramenta metodológica na preparação para a coleta de dados desta dissertação de mestrado. Foi preparado com base no proposto em Yin (2015), orientado por quatro raízes de conteúdo, identificadas de A à D na sequência:

A. Visão geral do estudo de caso e finalidade do protocolo

A consideração da missão e metas deste estudo de caso parte dos critérios para seleção do mesmo, mencionados na Seção 3.2 Projeto do Estudo de Caso. O estudo do processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP foi selecionado pela oportunidade estratégica de momento de implantação de Fábrica de Aprendizagem, somado à relevância de a mesma ser conduzida por docente e discentes integrantes de linha de pesquisa em comum com esta dissertação de mestrado.

O roteiro de classificação, descrição e recomendações tem como premissa a aderência à estrutura teórica identificada na Figura 15, síntese da literatura da Seção 2.3 baseada em Tisch et al. (2015) e Tisch et al. (2016), para a preparação do questionário para as entrevistas e posterior codificação dos resultados e análises.

O estudo de caso tem por finalidade documentar e analisar o processo de implantação, guiado pelo roteiro proporcionado pelas questões de pesquisa (classificação, descrição e recomendações), com contribuição dos envolvidos no projeto de implantação e coleta de dados.

B. Procedimentos de coleta de dados

Procedimentos e regras para coleta foram considerados para as seguintes fontes de dados do estudo de caso: Entrevistas, análise de documentos e observação de eventos. O critério para seleção das fontes teve como premissa a participação dos envolvidos no processo de implantação, e eventos relacionados ao mesmo. Partindo deste princípio, entrevistados e fornecedores de documentos para análise foram nomeados entre docentes e discentes do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP, responsáveis por conduzir a implantação. Reuniões de trabalho do projeto foram tomadas como eventos para coleta de dados por observação. A nomeação dos entrevistados partiu de consenso com o docente responsável pelo processo de implantação quanto à relevância dos mesmos, e o acesso para entrevistas se deu por agendamento direto com os participantes ou por conveniência após participação conjunta em evento do processo.

Dos entrevistados nomeados, o docente responsável pelo processo de implantação e o discente com maior carga de atribuições no mesmo foram tomados como fornecedores de documentos para análise, o que se deu por envio ou disponibilização de arquivos eletrônicos. Os documentos enviados, e os selecionados nos diretórios compartilhados conforme relevância identificada para esta dissertação a partir do questionário, foram então impressos e mantidos como parte da base de dados do trabalho.

Acesso a eventos para coleta de observações foi também assegurado por esses dois contados. Nos eventos, foi mantido comportamento restrito à coleta de informações, sem participação ativa nos trabalhos.

Como ponto de partida na instrumentação prévia à coleta de fato dos dados (MILES; HUBERMAN, 1994), foi estabelecido com base na Figura 15, síntese da literatura da Seção 2.3, um questionário para entrevistas estruturadas totalizando 93 questões. O conteúdo final do questionário, após etapas de coleta e análise de dados, é encontrado no Apêndice A, e Matriz de Relação Questionário X Bibliografia é encontrada no Apêndice B. No questionário, cada uma das questões recebeu, além de uma numeração sequencial de identificação, também uma codificação de acordo com as etapas da abordagem sistêmica para o desenvolvimento de fábricas de aprendizagem adotada como premissa desta dissertação (TISCH et al., 2016), a saber: AO-Ambiente Organizacional; OO-Objetivos Organizacionais; PA-Público-Alvo; CP-Competências Pretendidas; EF-Elementos de Fábrica; P-Produto; M-Mídia; -ME-

Método de Ensino; e PAP-Processo de Aprendizagem. Assim, por exemplo, a questão de número 1 foi identificada como Q01AO, e assim sucessivamente até a questão Q93PAP.

A instrumentação prévia para coleta foi complementada com a preparação de Folhas de Coleta de Dados (Entrevistas e Observações) – Apêndices C e D, e Folhas de Sumário de Dados (entrevistas, observações e documentos) – Apêndices E, F e G. A preparação das folhas de coleta considerou a apresentação de evidências separadas de qualquer interpretação (MILES; HUBERMAN, 1994; YIN, 2015), requisito de etapa de análise de dados. A preparação das folhas de sumário de dados considerou orientações de Miles e Huberman (1994) quanto à singularidade (máximo frente e verso), conter informações chave ou resumidas do entrevistado ou do evento, guiar o planejamento do próximo contato e/ou alterações nos procedimentos, o que levou à definição das questões de alocação de informações de cada uma delas.

A instrumentação prévia foi concluída com a preparação de planilhas no software Excel para a transcrição das informações coletadas das fontes de dados, assim como de suas análises.

C. Questões do estudo de caso

Endereçadas ao pesquisador e não diretamente aos entrevistados (YIN, 2015), refletem a linha de investigação e demonstram ao pesquisador as informações que necessitam serem coletadas para chegar às respostas das questões de pesquisa estabelecidas na Seção 1.4 Objetivos.

Instrumentada através do questionário, que foi utilizado também como referência para a transcrição e análise das informações referentes à observação de eventos e análise de documentos, a linha de investigação do estudo de caso foi primeiramente direcionada pela demanda por classificação da Fábrica de Aprendizagem. Assim, para cada questão do questionário originada de Tisch et al. (2015), foi tarefa deste estudo de caso alcançar respostas para:

-Qual a classificação de cada questão? Há divergências entre os diferentes entrevistados? Há divergências entre os entrevistados e as demais fontes de informação? Quais evidências suportam as conclusões? Foi alcançado consenso, ou recomendações para tal são necessárias?

Quanto à descrição do processo de implantação, foi tarefa deste estudo de caso identificar aderência ou não à abordagem sistêmica para o desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem adotada como premissa desta dissertação (TISCH et al., 2016), e textos e metodologias complementares. Nesse caso, respostas foram buscadas para cada uma das etapas da abordagem sistêmica para o desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem (TISCH et al., 2016):

AO-Ambiente Organizacional

Responsabilidades pela operação e desenvolvimento foram estabelecidas? Aspectos financeiros a curto, médio e longo prazos encontram-se planejados? Foram estabelecidas parcerias e, em caso positivo, como foram estabelecidas? Sistemáticas específicas foram praticadas (Identificação e uso de possíveis sinergias)? Qual o modelo de negócio adotado? Quais são os resultados de dimensão e quantificação da fábrica de aprendizagem? Qual o conceito geral da fábrica de aprendizagem?

OO – Objetivos Organizacionais

Encontram-se definidos os *Stakeholders*? Foi aplicada abordagem metodológica específica para defini-los? Quais os propósitos pretendidos para a estrutura? Quais os assuntos a serem abordados no atendimento aos propósitos?

PA – Público-Alvo

Quais públicos seriam atendidos quanto ao propósito educacional? Qual a vocação industrial planejada para a Fábrica de Aprendizagem?

CP – Competências Pretendidas

Há convergência de informações de AO, OO e PA para a definição das competências pretendidas? As competências e saídas de aprendizado foram formalmente estabelecidas? Qual o conteúdo das mesmas? Foi iniciado o desdobramento das competências nos módulos de aprendizado? O desdobramento para os módulos de aprendizado foi realizado conforme metodologia específica? Há convergência de informações de CP para a definição da Infraestrutura Sociotécnica (EF e P) e da Infraestrutura Didática (M, ME e PAP)?

EF – Elementos de Fábrica e P – Produto (Infraestrutura Sociotécnica)

Foram considerados de forma plena os ciclos de vida (Produto, Fábrica, Pedidos e Tecnologia)? Todos os aspectos fabris encontram-se claramente definidos, incluindo aspectos quanto à fabricação ou não de peças? Sistemáticas específicas foram praticadas (Configuração do sistema técnico como um todo, desenvolvimento de produto, princípio de desmontagem)? Há informações suficientes para a completa descrição da fábrica e do produto? A diferenciação entre aplicação real e aplicação para aprendizagem foi considerada?

M – Mídia, ME – Métodos de Ensino, e PAP – Processo de Aprendizagem (Infraestrutura Didática)

Encontram-se formalmente estabelecidos todos os aspectos e rotinas didáticas e pedagógicas a serem aplicadas? Aspectos quantitativos da Fábrica de Aprendizagem foram abordados no planejamento? Há evidências de realinhamento do currículo e revisão ou criação de novas disciplinas? O processo de aprendizado encontra-se definido e estruturado?

Respostas às questões mencionadas foram no estudo do caso buscadas nas três fontes de dados consideradas, entrevistas, análise de documentos e observação de eventos, sem distinção entre as mesmas.

D. Guia para o relatório de estudo de caso

De acordo com o processo de Yin (2015), adotado para esta dissertação de mestrado, o formato do relatório do estudo de caso é tratado na Seção 3.6 Compartilhamento, considerado de forma antecipada na Seção 3.2 Projeto do Estudo de Caso, e formalizado neste Protocolo do Estudo de Caso, razão da seta entre a Preparação e o Compartilhamento na Figura 16. É definido para relatório de estudo de caso único, de projeto holístico, com estrutura composicional analítica linear voltada para público consistindo de uma banca de dissertação. Adicionalmente, o formato atende à sequência de capítulos solicitada com referência ao padrão do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), conforme abaixo:

1. Introdução
2. Revisão de Literatura

3. Metodologia
4. Resultados e Análise
5. Recomendações
6. Conclusões

A nomeação dos capítulos mencionada para este estudo de caso considerou a inclusão de recomendações no Capítulo 5, em aderência à questão de pesquisa de número 3. O desdobramento desta sequência de capítulos foi realizado quando da definição do esboço do estudo de caso, com versão final documentada através do Sumário.

3.4 COLETA DE EVIDÊNCIA DO ESTUDO DE CASO

Das seis fontes de evidência consideradas em Yin (2015) – Documentação, registro em arquivos, entrevistas (curtas ou prolongadas), observações diretas, observação participante e artefatos físicos –, algumas delas também consideradas em outros textos (EISENHARDT, 1989; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002), três foram consideradas como aplicáveis a este estudo de caso, conforme documentado no protocolo: entrevistas, análise de documentos e observação de eventos.

Para a coleta de evidência das fontes consideradas, Yin (2015) estabelece quatro princípios: 1-Uso de múltiplas fontes de evidências; 2-Criar base de dados do estudo de caso; 3-Manter o encadeamento de evidências; e 4-Ter cuidado no uso de fontes eletrônicas.

O primeiro princípio foi atendido com o estabelecimento das fontes de evidência consideradas, para as quais foi provida análise conjunta de forma a assegurar triangulação dos dados. Todas as evidências coletadas das três fontes foram documentadas de acordo com o estabelecido no protocolo quanto a instrumentação da coleta, e são mantidas arquivada de forma ordenada e numeradas, de acordo com o tipo de evidência, de forma a permitir rastreabilidade e futura recuperação para efeito de consulta (YIN, 2015), atendendo desta forma o segundo princípio. O encadeamento de evidências, terceiro princípio, foi possibilitado pela transcrição ordenada de todas as evidências de acordo com os números codificados do questionário de entrevistas, que foram posteriormente analisados de forma conjunta respeitando a própria codificação. Não houve aplicação de uso de fontes eletrônicas, quarto princípio, para este estudo de caso.

Consideradas como a principal fonte de dados em estudos de casos (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002), quatro entrevistas de aproximadamente 90 minutos cada, e uma com duração inferior a 30 minutos, foram conduzidas nos meses de julho e agosto de 2018, guiadas pelo questionário de 93 perguntas mencionado no protocolo e pelas questões do estudo de caso documentadas na Seção C do mesmo. A duração das mesmas é intermediária entre as duas alternativas consideradas em Yin (2015), prolongadas (acima de duas horas de duração) e curtas (de até uma hora de duração).

Os resultados das entrevistas foram registrados no formulário Folha de Coleta de Dados – Entrevistas em duas etapas: quando das entrevistas, em condição de rascunho e, posteriormente, em formato final, sendo as duas versões mantidas arquivadas para eventual consulta. Foram numerados de acordo com a questão do questionário codificado e preservando a apresentação das informações coletadas, de forma separada de interpretações do pesquisador (MILES; HUBERMAN, 1994; YIN, 2015), condição possibilitada pelo projeto do formulário. Como informações coletadas nas entrevistas foram também consideradas percepções envolvidas com as respostas (EISENHARDT, 1989; MIGUEL, 2012), como por exemplo: inexistência de dúvida entre opções de respostas e mudança de resposta após considerações iniciais. Como prática de análise antecipada, característica de constante sobreposição entre análises e coleta de dados do método de estudo de caso devido ao seu volume de dados coletados (EISENHARDT, 1989), cada informação foi no formulário analisada de forma a registrar as impressões do pesquisador quando do momento da entrevista. Nesta análise prévia, foram também analisadas possíveis relações da informação coletada para cada questão específica do questionário com outras potenciais questões do mesmo, de forma a assegurar registro da relação e posterior análise conjunta. Relações foram no campo de análise também identificadas com o número e código das demais questões adicionais identificadas. Concluída a etapa de análise antecipada, cada entrevista teve seu resultado completo transcrito em planilha no software Excel, para posterior análise conjunta de todas as evidências do estudo de caso. Adicionalmente, cada entrevista deu origem também a uma Folha de Sumário de Dados – Entrevistas.

A aplicação de folhas de sumário para as entrevistas é tratada em Miles e Huberman (1994), tendo a indicação de potenciais revisões na sistemática de coleta de dados como uma de suas finalidades. De fato, o procedimento de entrevista foi alterado entre

o primeiro e o segundo contato, a partir de uma sugestão voltada a economizar tempo da entrevista provida pelo primeiro deles e registrada na folha de sumário em sua questão 4, voltada a alteração dos procedimentos de pesquisa para os próximos contatos. Da mesma forma, as questões do questionário a serem utilizadas a partir do terceiro contato tiveram a inclusão de destaques para informações necessárias, adicionadas ao mesmo após as análises e transcrições realizadas até então, também com registro na folha de sumário. A realização de ajustes na coleta de dados durante o processo de coleta é uma condição prevista em Eisenhardt (1989) e em Miguel (2012).

Observação direta foi aplicada a reuniões relacionadas ao projeto de implantação. Foram, no total, acompanhados cinco eventos, sendo dois deles em agosto de 2016 e os demais três entre julho e agosto de 2018, na fase final do projeto. Requisito estabelecido em Yin (2015) como forma de aumentar a confiabilidade das observações, o acompanhamento dos eventos em mais de um observador não foi possível de ser praticado por ter sido esta pesquisa realizada por um único pesquisador. De forma equivalente às entrevistas, observações tiveram o registro das informações coletadas de forma separada de interpretações do pesquisador (MILES; HUBERMAN, 1994; YIN, 2015), porém não inicialmente relacionadas aos números e códigos do questionário, por não serem as observações guiadas pelo mesmo. A relação aos números e códigos fez parte, neste caso, da etapa de análise antecipada. Equivalente transcrição das informações e resultados de análise antecipada para planilha no software Excel foi realizada para as observações de eventos. Também equivalente registro de sumário foi realizado para esta fonte de evidências.

Documentos foram considerados como evidências a partir do envio ou disponibilização pelos dois principais provedores de informações, conforme mencionado na Seção B do protocolo.

Com relação aos documentos do processo de implantação disponibilizados em diretórios de arquivos compartilhados, os documentos disponíveis nos diretórios foram primeiramente selecionados quanto à sua relevância para a pesquisa em adicionar informações novas ou, do ponto de vista de triangulação dos dados, de adicionar informações corroborantes ou conflitantes com as anteriormente coletadas por entrevistas ou observações de eventos (YIN, 2015). No total, foram coletados e posteriormente analisados vinte e sete documentos referentes ao projeto de implantação do objeto de estudo, descritos como propostas oficiais e seus anexos,

apresentações, plantas, pautas e atas de reuniões, comunicações e formalizações relacionadas aos parceiros, publicação no Diário Oficial da União, solicitações de apoio a parceiros, e coleção de fotografias de resultados de reunião de trabalho com empresas parceiras. Diferentemente de entrevistas e de observações de eventos, que podem ser classificadas como situações dinâmicas que demandaram registro das informações como coletadas para posterior análise, no caso de documentos foi conduzida a etapa de análise avançada com numeração e codificação das evidências direto em planilha no software Excel, documentada através da folha de sumário.

Na etapa de coleta de evidência do estudo de caso foi comprovada a eficácia da codificação adotada. Estabelecida no questionário, conforme Seção B do protocolo, como uma lista prévia anterior ao trabalho de campo (MILES; HUBERMAN, 1994) baseada na abordagem sistêmica para o desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem adotada como premissa desta dissertação, demonstrou-se eficaz no trabalho de análise avançada e transcrição das informações coletadas, sem necessidade de alteração ao longo do trabalho (MILES; HUBERMAN, 1994).

A coleta de evidência foi dada como encerrada individualmente para cada uma das fontes de evidências consideradas. No caso das entrevistas, foram conduzidas com todos os contatos pré-definidos, sem identificação de novos contatos com potencial de contribuições adicionais. No caso de observação de eventos e análise de documentos, a coleta de evidência prosseguiu até a conclusão quanto à não adição de novas informações passíveis de mudar as conclusões para o material analisado até então e, conseqüentemente, contribuir no atendimento às questões de pesquisa.

3.5 ANÁLISE

A análise de dados do estudo de caso é, segundo Yin (2015), um de seus aspectos menos desenvolvidos e, segundo o autor, a decisão por estratégia analítica pode inclusive levar ao desenvolvimento de uma própria para cada estudo.

Dentre as quatro estratégias analíticas classificadas como gerais em Yin (2015), a estratégia analítica geral de desenvolvimento de descrição do caso leva a uma estrutura descritiva que organiza a análise do estudo de caso. Aderente ao roteiro proporcionado pelas questões de pesquisa (classificação, descrição e recomendações), a exposição de resultados e a análise foram guiadas por duas

estruturas descritivas, que são as sete dimensões de classificação de Fábrica de Aprendizagem de Tisch et al. (2015) e as etapas do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016), segundo as quais o Capítulo 4 foi estruturado. A adoção das duas estruturas descritivas tidas como padrão a partir da revisão de literatura e antes da coleta de evidência do estudo de caso leva a estratégia analítica geral a ser utilizada em conjunto com uma das cinco estratégias analíticas específicas de Yin (2015), que é a combinação de padrão. Com análise descritiva para as duas estruturas, combinada à proposição de recomendações baseadas às mesmas no Capítulo 5, o resultado desta dissertação de mestrado pode ser classificado como um estudo Tipo 2 conforme Blessing e Chakrabarti (2009), que considera projeto iniciado por uma revisão de literatura para definição do objetivo, foco e escopo, seguido de um abrangente estudo descritivo e um introdutório estudo prescritivo.

A etapa de análise foi beneficiada pela adoção, quando da preparação do questionário das entrevistas, da codificação baseada na numeração de suas questões e nas etapas do Guia Curricular. Conforme Yin (2015), percepções podem emergir ao lidar com os dados, incluindo justaposição de dados de diferentes fontes, condição possibilitada pela codificação das planilhas e agrupamento pela mesma, procedimento adotado para a exposição dos resultados e análise no Capítulo 4. Assim, com o recurso proporcionado pela codificação, a exposição dos resultados e a análise baseado nos mesmos foram preparados com base nas planilhas que foram o resultado da última etapa de transcrição das evidências das entrevistas, observação de eventos e análise de documentos. Diferentes evidências para a mesma fonte de dados, assim como entre diferentes fontes de dados, foram então agrupadas com base na codificação registrada no campo de análise antecipada de cada fonte de dados e, desta forma, consideradas em conjunto para a descrição dos resultados e da consequente análise.

3.6 COMPARTILHAMENTO

A decisão quanto ao formato de relatório do estudo de caso passa, conforme Yin (2015), pela consideração do público-alvo do relatório. Quatro públicos-alvo são por Yin (2015) tidos como potenciais para relatórios de estudos de caso:

1. Colegas acadêmicos;

2. Políticos, profissionais, líderes comunitários e outros profissionais não especializados no estudo de caso ou em outras pesquisas da ciência social;
3. Grupos especiais, como o comitê de dissertação ou tese;
4. A instituição financiadora da pesquisa.

Esta dissertação de mestrado é destinada para o público identificado como número 3, grupos especiais, como um comitê de dissertação.

Também com referência ao processo linear e iterativo de Yin (2015), o formato do relatório de estudo de caso foi considerado de forma antecipada na Seção 3.2 Projeto do Estudo de Caso e formalizado no Protocolo do Estudo de Caso da Seção 3.3 Preparação para a Coleta de Evidência do Estudo de Caso. Foi então estabelecido, dentre as quatro categorias de formatos de relatório, como sendo um estudo de caso único, de projeto holístico, em aderência ao projeto do estudo de caso definido conforme a Figura 17. Dentre os seis tipos de estrutura composicional, foi estabelecido como sendo de estrutura analítica linear, abordagem padrão para a composição de relatórios de pesquisa, caracterizada pela exposição do aspecto ou problema sendo estudado, revisão da literatura, descrição dos métodos, exposição e análise dos resultados, e finalmente pela conclusão (YIN, 2015). Conforme já mencionado no protocolo, esta estrutura composicional analítica linear é coerente à sequência de capítulos solicitada com referência ao padrão do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Especificamente quanto à exposição dos resultados e da análise, em Miguel (2012) é enfatizado que os mesmos devem ser relacionados à teoria existente, aspecto atendido pela estruturação do capítulo 4 conforme descrito na Seção 3.5.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Neste capítulo são expostos e analisados os resultados alcançados por meio da coleta de evidências do estudo de caso para as três fontes de dados consideradas. É iniciado por uma descrição geral das instalações e na sequência, em conformidade às questões de pesquisa de números 1 e 2, os resultados foram separados de acordo com os propósitos, que são de classificação e descrição do processo.

4.1 DESCRIÇÃO GERAL

Esta Seção se propõe a brevemente introduzir a descrição e ilustração das instalações em desenvolvimento da Fábrica do Futuro 4.0 USP, identificadas através desta pesquisa de mestrado. Esta breve descrição é baseada e suportada pelo documento de candidatura ao Edital de Chamamento Público Ministério da Indústria , Comércio Exterior e Serviços (2018).

Inicialmente, êxito foi alcançado no processo de desenvolvimento quanto à alocação das instalações, no edifício de alto padrão InovaUSP, de recente construção localizado em região central e privilegiada do campus. A Figura 18 apresenta uma visão geral do edifício e exemplos de instalações internas que serão destinadas ao complexo de Laboratórios Multidisciplinares Avançados PATEO (Laboratório de Games e Soluções Digitais), do qual a Fábrica do Futuro 4.0 USP será uma das quatro grandes áreas. As outras três grandes áreas serão o Laboratórios de Soluções Digitais para Novos Modelos de Negócios, o Laboratório de Games e o Núcleo de Empreendedorismo da USP.

Figura 18 - Visão geral do edifício InovaUSP e suas instalações

Fonte: documento de candidatura ao Edital de Chamamento Público Ministério da Indústria , Comércio Exterior e Serviços (2018).

O espaço reservado à Fábrica do Futuro 4.0 USP estava, quando da coleta de dados desta pesquisa, em fase final de preparação para receber as instalações, conforme ilustrado na Figura 19. Na Figura 20, é demonstrado o layout para as instalações específicas, no pavimento térreo do bloco C do edifício, planejadas para serem compostas da fábrica propriamente dita, escritórios e espaço reservado a demonstrações e expositores.

Figura 19 - Preparação das instalações

Fonte: Base de dados de documentos avaliados.

Figura 20 - Layout das instalações da Fábrica do Futuro 4.0 USP

Pavimento Térreo – Bloco C

Fonte: Base de dados de documentos avaliados.

Nas Seções 4.2 e 4.3, quando da classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP e descrição do processo de implantação, descrições detalhadas específicas serão adicionadas, conforme as dimensões de classificação ou etapas do processo tratadas.

4.2 CLASSIFICAÇÃO

Conforme descrito na Seção 3.5, os resultados referentes à classificação foram divididos e considerados de acordo com as sete dimensões de classificação de Fábrica de Aprendizagem de Tisch et al. (2015), cada uma delas abrangendo diferentes grupos de questões do questionário utilizado para as entrevistas e para a análise dos dados, cada questão tratando de uma característica específica.

4.2.1 Modelo de operação

Abrange os resultados referentes às questões de números Q01AO, Q02AO, Q03AO, Q04AO, Q05AO, Q06AO e Q10AO.

Todos os entrevistados questionados quanto à responsabilidade pela operação da Fábrica do Futuro 4.0 USP demonstram segurança quanto à operação por universidade. As respostas foram diretamente ou indiretamente relacionadas à universidade, neste último caso como sendo Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP.

Evidências referentes à operação foram obtidas em quatro dos documentos analisados, e corroboram com os resultados das entrevistas. Entre elas, destinação de edificação da própria universidade, InovaUSP, recém-construído, a transição da Fábrica do Futuro 4.0 USP para o complexo de Laboratórios Multidisciplinares Avançados PATEO (Laboratório de Games e Soluções Digitais), sediado no edifício InovaUSP, a gestão administrativa e financeira pela Fundação de Apoio à Universidade (FUSP) dos recursos captados e dos convênios e contratos cuja gestão administrativa e financeira não seja realizada diretamente pela universidade, e a necessidade de cada laboratório componente do complexo PATEO, caso da Fábrica do Futuro 4.0 USP, publicar seu próprio regimento, como componente da universidade. Evidências de observação de eventos corroboram a alocação das futuras instalações no edifício destinado pela universidade.

Resultados das entrevistas mostram divergências quanto à responsabilidade pela condução da instrução. Enquanto os contatos docente e discente com maior responsabilidade de atribuições pelo projeto assinalam as opções professor, pesquisador, estudante assistente e especialista técnico, com a opção consultor (desde que com vínculo com a universidade ou com o projeto) também assinalada, os demais contatos consideram opções reduzidas (e divergentes entre eles) com relação às opções dos dois anteriores. Não foram encontradas evidências quanto à responsabilidade pela condução da instrução nas fontes de dados observação de eventos e análise de documentos.

Consenso nas entrevistas quanto ao desenvolvimento da Fábrica do Futuro 4.0 USP ter desenvolvimento próprio nos dois anos iniciais do projeto. Os entrevistados também adicionam evidência quanto ao desenvolvimento estar concentrado no Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP. Evidências em observação de reuniões de projeto registram participação concentrada em docentes do departamento mencionado, com reduzida participação de docentes de outros departamentos e unidades da própria universidade, e sem participação ativa de parceiros externos à universidade, condição alterada a partir da oficialização de parcerias e início da participação de parceiros externos nas reuniões de projeto. Porém, mantida liderança da universidade na condução do desenvolvimento. Documentos revelam cronogramas de projeto sendo administrados pela equipe da universidade nos anos iniciais de projeto, e a relevância do docente do Departamento de Engenharia de Produção com maior atribuição de responsabilidades no projeto, nomeado como coordenador da comissão científica e da comissão executiva do projeto PATEO como um todo.

A classificação quanto à origem dos recursos iniciais, além da já mencionada alocação das instalações em edifício da universidade, não foi consenso entre os entrevistados, porém com informação esclarecedora dos docentes entrevistados: recursos iniciais, apesar de oriundos de doação de parceiros privados da universidade e não orçamentários, são tratados como recursos internos pois poderiam ter outra destinação. Em adição ao investimento inicial já descrito, foi nas entrevistas e na análise de documentos identificada aplicação de recursos da universidade na condução de obras de infraestrutura nas futuras instalações, e considerados recursos públicos oriundos de agências de fomento de pesquisa. Registros de observação de reunião corroboram a origem do investimento inicial que deu origem ao projeto. Nas

entrevistas, são também citados outros financiamentos iniciais provenientes de fontes privadas, porém com divergência de informações identificada. Registro de observação de reunião, já com a participação de parceiros privados ativos, sugere início de operação com os recursos então disponíveis, originados dos recursos internos, porém diversos registros de análise de documentos revelam origem de recursos privados antes do início de fato da operação, dados estes considerados conclusivos quanto ao financiamento inicial.

Nas três fontes de dados (entrevistas, análise de documentos e observação de eventos) são disponíveis evidências quanto à origem dos financiamentos durante a operação que levam à classificação de acordo com as três possíveis origens. Com relação à continuidade do financiamento, especificamente nas entrevistas foi percebida incerteza, sem que fosse obtida resposta conclusiva. Também não há nas demais fontes de dados informações conclusivas quanto a financiamento a longo prazo.

Como última característica na classificação referente ao modelo de operação, evidências para classificação do modelo de negócios para treinamentos foram encontradas apenas nas entrevistas, com consenso pela classificação por taxas por curso e modelo fechado.

A classificação alcançada para a dimensão Modelo de Operação encontra-se ilustrada na Figura 21, com descrição das conclusões no Quadro 14.

Figura 21 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Modelo de Operação

Figura 2.1 – Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 361 – Modelo de Operação											
Operação	Instituição acadêmica			Instituição não acadêmica					Operação orientada ao lucro		
	Universidade	Faculdade	BA	Ensino médio vocacional	Câmara	Sindicato	Associação de funcionários	Rede industrial	Consultoria	Fábrica	
Instrutores	Professor		Pesquisador		Estudante assistente		Especialista técnico / internacional		Consultor		Educador
Desenvolvimento	Desenvolvimento próprio				Desenvolvimento assistido				Desenvolvimento externo		
Financiamento inicial	Recursos internos				Recursos públicos				Recursos privados		
Financiamento na operação	Recursos internos				Recursos públicos				Recursos privados		
Continuidade do Financiamento	Recursos internos				Recursos públicos				Recursos privados		
Modelo de negócio para os treinamentos	Modelo aberto					Modelo fechado (programa de treinamento apenas para companhias únicas)					
	Modelo de clube		Taxas por curso								
Legenda:	Plena classificação				Classificação incerta				Classificação inviável		

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2015) , tradução nossa.

Quadro 14 - Conclusões dimensão Modelo de Operação

Dimensão de classificação • Modelo de operação	Q01AO	Evidências apresentadas não deixam dúvida que esta dissertação de mestrado trata da implantação de uma Fábrica de Aprendizagem com operação sob responsabilidade de universidade, no caso do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP.
	Q02AO	A responsabilidade pela instrução foi identificado como um assunto ainda não tratado de forma estruturada no processo de implantação; conjuntura considerada derivada do foco prioritário estabelecido, que relaciona o financiamento inicial à Infraestrutura Sociotécnica.
	Q03AO	Interpretado como relacionado à operação pela universidade, o desenvolvimento foi identificado como próprio nos dois anos iniciais do projeto, e concentrado no Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP; mantida liderança do desenvolvimento, mesmo após a oficialização de parcerias.
	Q04AO	Recursos internos, públicos e privados foram identificados como relacionados aos financiamentos iniciais e durante a operação; as informações coletadas com relação ao financiamento inicial foram conclusivas para interpretar o foco prioritário inicial do projeto, de prevalecer o desenvolvimento e implantação da Infraestrutura Sociotécnica em um primeiro momento. Incerteza identificada quanto à continuidade do financiamento demanda tratativa.
	Q05AO	
	Q06AO	
	Q10AO	Apesar do consenso quanto ao modelo de negócios para os treinamentos, ausência de outras evidências além das entrevistas foi tido como assunto ainda não tratado de forma estruturada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Objetivo e metas

Abrange os resultados referentes às questões de números Q18OO, Q19OO, Q20OO, Q21OO, Q22OO, Q24PA, Q25PA e Q26PA.

Evidências de entrevistas revelam divisão de opinião entre os contatos, entre as opções educação e pesquisa como propósitos principais. Reunião de 2018 revela o propósito de pesquisa ainda sendo tratado como potencial. Evidências documentais comprovam que as instalações, além de educação, serão utilizadas também para pesquisa (inclusive por parceiros), porém sem estabelecer de forma conclusiva uma hierarquia entre os propósitos. A prática do propósito de pesquisa é bem clara quando abordados aspectos de tratativa de propriedade intelectual em documentação de convênio com parceiros, assim como menções a publicações científicas.

Entrevistas apontam ambiente teste / piloto como propósito secundário, sendo repetidas as evidências de observação de eventos e análise de documentos com relação ao propósito secundário.

Opiniões diversas entre os entrevistados para a característica grupo-alvo para educação e treinamento. Propósito de educação voltada a empresas é encontrado em análise de documento, assim como educação voltada à graduação. Diversas também

as opiniões das entrevistas quanto a características de homogeneidade ou não dos grupos, sem evidências adicionais das demais fontes de dados.

Convergência de opiniões é identificada nas entrevistas com relação às indústrias-alvo da Fábrica de Aprendizagem. A maior parte foi assinalada por todos os entrevistados, com exceção de têxtil, logística e transporte, que não foram unanimidade. Em adição às opções consolidadas nas entrevistas, um dos documentos traz também a especialidade de bens de capital. Condição similar é verificada em questões que abordam os assuntos tratados nos treinamentos e os tópicos de pesquisa tratados, porém com maior divergência entre os entrevistados, e quase total ausência de informações nas demais fontes de dados, à exceção de menção à possibilidade de abordar logística entre diferentes plantas.

Convergência verificada nas entrevistas para a classificação como instalação de pesquisa, porém absolutamente sem evidências das demais fontes de dados.

A classificação alcançada para a dimensão Objetivo e Metas encontra-se ilustrada na Figura 22, com descrição das conclusões no Quadro 15.

Figura 22 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Objetivo e Metas

Propósito principal	Educação				Treinamento vocacional				Pesquisa						
Propósito secundário	Ambiente teste / piloto			Produção industrial				Transferência de inovação			Propaganda para produção				
Grupos alvo para educação e treinamento	Alunos	Estudantes			Funcionários						Empreendedores	Autônomos	Inativos	Aberto ao público	
		Graduação	Mestrado	Doutorado	Aprendizes	Qualificados	Semi qualificados	Não qualificados	Executivos						
									Baixa gestão	Média gestão					Alta gestão
Constelação do grupo	Homogêneo							Heterogêneo (nível de conhecimento, hierarquia, estudantes + funcionários, etc.)							
Indústrias alvo	Mecânica e de fábricas		Automotiva		Logística		Transportes		FMCG – Produtos de consumo rápido		Aeroespacial				
	Química		Eletrônica		Construção		Seguros / bancária		Têxtil		Outras				
Assuntos tratados no conteúdo dos treinamentos	Gestão e organização da produção	Eficiência de recursos	Gestão lean	Automação	CPPS – Sistemas de produção ciberfísicos		Projeto de sistemas de trabalho	HMI – Interface homem-máquina		Projeto	Projeto e gestão de logística interna		Outros		
Papel da Fábrica de Aprendizagem para pesquisa	Objeto de pesquisa							Instalações de pesquisa							
Tópicos de pesquisa	Gestão e organização da produção	Eficiência de recursos	Gestão lean	Automação	CPPS – Sistemas de produção ciberfísicos		Mutabilidade	HMI – Interface homem-máquina		Didática	Outros				
Legenda:	Plena classificação				Classificação incerta				Classificação inviável						

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2015) , tradução nossa.

Quadro 15 - Conclusões dimensão Objetivo e Metas

Dimensão de classificação • Objetivo e Metas	Q18OO	De forma geral, o estabelecimento de forma estruturada dos aspectos relacionados à dimensão Objetivo e Metas não foi até o momento demandado, de acordo com a proposta de foco nas prioridades relacionadas aos financiamentos e Infraestrutura Sociotécnica, adotada pela equipe de implantação.
	Q19OO	
	Q20OO	
	Q21OO	
	Q22OO	
	Q24PA	
	Q25PA	
	Q26PA	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Processo

Abrange os resultados referentes às questões de números Q38EF, Q39EF, Q40EF, Q41EF, Q23OO, Q42EF, Q43EF, Q44EF, Q45EF, Q46EF e Q48EF.

Entrevistas resultam em diferentes opiniões para cada entrevistado com relação à definição dos ciclos de vida (produto, fábrica, pedidos e tecnologia), condição que se soma à ausência de evidências de observação de eventos e documentos.

Diferente cenário apresentado na classificação das funções indiretas a serem abordadas na Fábrica de Aprendizagem, com evidências de entrevistas e documentos levando à classificação pelas gestões da cadeia de suprimentos e da qualidade, restando como incerteza apenas a inclusão de recursos humanos e finanças.

As demais características desta dimensão têm resultados derivados do produto adotado e equipamentos já disponíveis. Por exemplo, consenso nas entrevistas, suportado por observação de eventos e documento, para a classificação do fluxo de material de produção discreta, caracterizado por envolver peças, componentes e operações de montagem. De forma similar, consenso quanto a tecnologia de manufatura classificada como física, e não química ou biológica, outra característica derivada do produto adotado. Classificação do grau de automação em entrevistas e evento observado derivada da condição e disponibilidade atual de recursos, o que leva à classificação como manual; planos futuros identificados referentes à obtenção de recursos oriundos de parcerias, assim como derivados da vocação da Fábrica de Aprendizagem de ser direcionada para as tendências da manufatura atual, levam a potencial futura classificação de automação como parcial ou híbrida, tendo sido descartada a classificação totalmente automatizada. Diferenças de opiniões para as características tipo de processo, organização da manufatura e métodos de manufatura

derivadas da ainda indefinição completa do sistema técnico, evidenciada em evento observado.

A classificação alcançada para a dimensão Processo encontra-se ilustrada na Figura 23, com descrição das conclusões no Quadro 16.

Figura 23 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Processo

Ciclo de vida do produto	Planejamento do produto	Desenvolv. do produto	Projeto do produto	Prototipagem rápida	Manufatura	Montagem	Logística	Pós Vendas	Reciclagem
Ciclo de vida da fábrica	Planejamento de investimentos	Conceito da fábrica	Planejamento do processo	Aceleração da produção	Manufatura	Montagem	Logística	Manutenção	Reciclagem
Ciclo de vida dos pedidos	Configuração e pedido	Sequenciam. do pedido	Planejamento e agendamento da produção	Manufatura	Montagem	Logística	Coleta e embalagem	Remessa	
Ciclo de vida Da tecnologia	Planejamento	Desenvolv.	Teste virtual	Manufatura	Montagem	Logística	Manutenção	Modernização	
Funções indiretas	SCM – Gestão da cadeia de fornecimentos		Vendas	Compras	Recursos Humanos		Finanças / Controladoria		Gestão da Qualidade
Fluxo de material	Produção contínua					Produção discreta			
Tipo de processo	Produção em massa			Produção seriada		Produção de pequenas séries		Produção de itens unitários	
Organização da manufatura	Manufatura em local fixo			Manufatura em bancada		Manufatura em oficina		Fluxo de produção	
Grau de automação	Manual				Parcialmente automatizada / automação híbrida			Totalmente automatizada	
Métodos de manufatura	Corte	Moldagem primária tradicional	Manufatura aditiva		Conformação	Combinação	Revestimento	Mudanças das propriedades dos materiais	
Tecnologia de manufatura	Física				Química			Biológica	
Legenda:	Plena classificação				Classificação incerta			Classificação inviável	

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2015) , tradução nossa.

Quadro 16 - Conclusões dimensão Processo

Dimensão de classificação • Processo	Q38EF	Em conjunto, a classificação das características dependentes do sistema técnico da Fábrica de Aprendizagem revela ainda dependência da definição estruturada do mesmo para permitir plena classificação, condição essa identificada na pesquisa como sendo providenciada em conjunto com as etapas finais de implantação da Infraestrutura Sociotécnica.
	Q39EF	
	Q40EF	
	Q41EF	
	Q2300	
	Q42EF	
	Q43EF	
	Q44EF	
	Q45EF	
	Q46EF	
	Q48EF	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4 Configuração

Abrange os resultados referentes às questões de números Q49EF, Q51EF, Q52EF, Q53EF, Q55EF e Q56EF.

Baseados em tendência da manufatura atual com aplicação pretendida (*Digital Twin*), os entrevistados classificaram o ambiente de aprendizagem como fluxo de valor físico da Fábrica de Aprendizagem, estendido virtualmente. Em documento, outra tendência (produção remota / distribuída) remete à classificação.

Entrevistados divididos quanto à classificação da escala do ambiente, sem evidências advindas de outras fontes de dados para corroborar, e dispersos quanto à classificação dos níveis do sistema de trabalho, com menção em documento para estação de trabalho única, porém com sistema técnico ainda indefinido.

A classificação de assuntos relacionados à adaptabilidade mostra consenso parcial para os facilitadores e total para as dimensões envolvidas, principalmente com relação à limitação relacionada à tecnologia.

Baseados nas condições proporcionadas pelos recursos atualmente disponíveis, os entrevistados remetem à classificação da integração de tecnologia da informação antes e depois do início da produção.

A classificação alcançada para a dimensão Configuração encontra-se ilustrada na Figura 24, com descrição das conclusões no Quadro 17.

Figura 24 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Configuração

Ambiente de aprendizagem	Puramente físico (planejamento + execução)	Fábrica de aprendizagem física suportada por fábrica digital	Fluxo de valor físico da Fábrica de Aprendizagem estendido virtualmente	Puramente virtual (planejamento e execução)	
Escala do ambiente	Em menor escala		Tamanho natural		
Níveis de sistema de trabalho	Estação de trabalho	Sistema de trabalho	Fábrica	Rede	
Facilitadores para a mutabilidade	Mobilidade	Modularidade	Compatibilidade	Escalabilidade	Universalidade
Dimensões de mutabilidade	Layout e logística	Características do produto	Projeto do produto	Tecnologia	Quantidades do produto
Integração de Tecnologia da Informação	TI antes do início de produção (CAD, CAM, simulação)		TI depois do início de produção (PPS, ERP, MES)		TI depois da produção (CRM, PLM, ...)
Legenda:	Plena classificação		Classificação incerta		Classificação inviável

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2015), tradução nossa.

Quadro 17 - Conclusões dimensão Configuração

Dimensão de classificação • Configuração	Q49EF	Classificações das características desta dimensão alcançadas de forma plena com relevante consenso entre os entrevistados; incertezas foram consideradas relacionadas ao sistema técnico da Fábrica de Aprendizagem, ainda não definido de forma estruturada.
	Q51EF	
	Q52EF	
	Q53EF	É relevante considerar que praticamente todas as características desta dimensão tiveram classificação baseada em evidências originadas de entrevistas, sem contribuição das demais fontes de informação, o que corrobora a informação anterior.
	Q55EF	
	Q56EF	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.5 Produto

Abrange os resultados referentes às questões de números Q62P, Q63P, Q64P, Q67P, Q68P, Q70P, Q71P e Q72P.

Favorecida pelo fato de o produto adotado para a Fábrica de Aprendizagem já estar consolidado, com evidências das três fontes de dados, a classificação completa desta dimensão foi estabelecida. Adotado como produto didático para a Fábrica do Futuro 4.0 USP desde as primeiras reuniões de projeto acompanhadas, conforme descrito na Subseção 4.3.5, o skate aparece consolidado em um dos documentos mais recentes avaliados. Ilustrado conforme Figura 25, apresenta também consolidada sua lista de componentes. A introdução de uma caixa de conectividade foi durante a pesquisa identificada como plano futuro para atualização da estrutura do produto.

Figura 25 - Produto da Fábrica do Futuro 4.0 USP

Fonte: Adaptado de Hupfeld (2018), tradução nossa.

Caracterizado pelos entrevistados como produto de características físicas e carga geral, têm menções em eventos e em documentos que também levam à esta classificação. A classificação da origem do produto e de suas características do ponto de vista de comercialização teve as evidências das três fontes de dados interpretadas em conjunto, levando à adaptação própria de produto já disponível no mercado, que poderia também estar disponível em sua versão adaptada. Com evidência de indefinição nas primeiras reuniões observadas, é atualmente consenso de que variações do produto farão parte do conteúdo didático, a serem desenvolvidas pelos participantes. Estimativas da quantidade de componentes dadas pelos participantes foram corroboradas em documento com a completa definição da lista de materiais, que define 8 diferentes componentes os quais totalizam 39 no total, conforme Figura 25. Também com base em aplicação didática planejada foi classificada a característica de uso posterior, voltada para reutilização constante nas atividades. A classificação alcançada para a dimensão Produto encontra-se ilustrada na Figura 26, com descrição das conclusões no Quadro 18.

Figura 26 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Produto

Materialidade	Material (produto físico)			Imaterial (serviço)		
Forma do produto	Carga geral			Carga a granel		
Origem do produto	Desenvolvimento próprio		Desenvolvido pelos participantes		Desenvolvimento externo	
Comercialização do produto	Disponível no mercado		Disponível no mercado mas didaticamente simplificado		Funcional, poderia estar disponível no mercado	
Nº de produtos diferentes	1 produto	2 produtos	3 a 4 produtos	> 4 produtos	Flexível, desenvolvido pelos participantes	Aceitação de pedidos reais
Nº de variações	1 variação	2 a 4 variações	4 a 20 variações	...	Flexível, dependendo dos participantes	Determinado pelos pedidos reais
Nº de componentes	1 componente	2 a 5 componentes	6 a 20 componentes	21 a 50 componentes	51 a 100 componentes	> 100 componentes
Uso posterior do produto	Reuso / reciclagem		Exposição / demonstração		Doação	Venda
Legenda:		Plena classificação		Classificação incerta		Classificação inviável

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2015) , tradução nossa.

Quadro 18 - Conclusões dimensão Produto

Dimensão de classificação • Produto	Q62P	O fato do produto, skate, assim como de seus componentes, já estarem consolidados, foi de grande favorecimento para a completa classificação desta dimensão. Ressalta-se o fato de que todas as características desta dimensão foram classificadas sem incertezas, baseada em evidências advindas das três fontes de dados.
	Q63P	
	Q64P	
	Q67P	
	Q68P	
	Q70P	
	Q71P	
	Q72P	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.6 Didática

Abrange os resultados referentes às questões de números Q28CP, Q29CP, Q74ME, Q75ME, Q76ME, Q88PAP, Q89PAP, Q77ME, Q78ME, Q79ME, Q90PAP e Q91PAP. Apenas dados de entrevistas disponíveis para a classificação das características referentes a classes de competências e dimensões de aprendizado-alvo. Diferentes opiniões entre os entrevistados para classes de competências levam apenas a uma sugestão de classificação, assegurando a tratativa de competências técnicas e mercadológicas, e deixando incerta a tratativa de competências sociais e de comunicação, competências pessoais e competências orientadas para a ação e implementação. Consenso para as dimensões de aprendizado-alvo leva à certeza de tratativa da dimensão cognitiva, sem menção às dimensões afetivas e psicomotoras. Opiniões diferentes entre os entrevistados para a característica estratégia de cenário de aprendizagem levam à inviabilidade de classificação desta característica, sendo que todas as quatro alternativas foram citadas e nenhuma delas foi considerada preponderante. Destaque para opinião divergente com relação às inovações na formação de engenheiros, para cenário de aprendizagem de instrução, opção que menos flexibilidade confere aos alunos ou aprendizes.

Plena classificação para a característica tipo de ambiente de aprendizagem, com os entrevistados concordando quanto ao desenvolvimento de novo ambiente de aprendizado, e não melhoria de ambiente já existente, as duas alternativas disponíveis.

Pequena divergência para a característica canal de comunicação, atribuída à conexão remota com outras Fábricas de Aprendizagem, o que leva a classificação certa da Fábrica de Aprendizagem como direcionada a propiciar aprendizado nas próprias instalações.

Também pequena divergência na direção de limitar o grau de autonomia dos alunos, com predominância de atribuição à característica grau de autonomia uma classificação voltada à autonomia parcial, classificação como autoguiado / autorregulado coerente com as inovações na formação de engenheiros.

Na característica papel do instrutor, opiniões divergentes entre os entrevistados com citação das quatro alternativas e sem identificação de preponderância inviabilizam a classificação, o que também foi verificado para a característica tipo de treinamento,

que apresenta apenas um consenso entre os entrevistados voltado para treinamento tipo *Project Work*, e para as características padronização dos treinamentos, fundamentação teórica, níveis de avaliação e avaliação do sucesso dos treinamentos. A classificação alcançada para a dimensão Didática encontra-se ilustrada na Figura 27, com descrição das conclusões no Quadro 19.

Figura 27 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Didática

Classes de competências	Competências técnicas e metodológicas		Competências sociais e de comunicação		Competências pessoais		Competências orientadas para ação e implementação			
Dimensões de aprendizado alvo	Cognitivas			Afetivas			Psicomotoras			
Estratégia de cenário de aprendizagem	Instrução		Demonstração		Cenário fechado			Cenário aberto		
Tipo de ambiente de aprendizagem	Greenfield (desenvolvimento de ambiente de aprendizagem)				Brownfield (melhoria de ambiente de aprendizagem existente)					
Canal de comunicação	Aprendizado no local (no ambiente da fábrica)				Conexão remota (ao ambiente da fábrica)					
Grau de autonomia	Instruído			Autoguiado / autorregulado			Autodeterminado / auto organizado			
Papel do instrutor	Apresentador		Moderador		Treinador		Instrutor			
Tipo de treinamento	Tutorial		Curso prático de laboratório		Seminário		Oficina		Project work	
Padronização dos treinamentos	Treinamentos padronizados				Treinamentos customizados					
Fundamentação teórica	Pré-requisito		Antecipadamente (em bloc)		Alternando com etapas práticas		Baseado na demanda		Depois	
Níveis de avaliação	Feedback dos participantes		Aprendizado dos participantes		Transferência para fábrica real		Impacto econômico dos treinamentos		Retorno dos treinamentos / Retorno sobre os investimentos	
Avaliação dos sucessos dos treinamentos	Teste de conhecimento (escrito)		Teste de conhecimento (oral)		Relatório escrito		Apresentação oral		Exame prático	Nenhum
Legenda:	Plena classificação			Classificação incerta			Classificação inviável			

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2015) , tradução nossa.

Quadro 19 - Conclusões dimensão Didática

Dimensão de classificação • Didática	Q28CP	Classificação desta dimensão foi limitada aos dados das entrevistas, com ausência de resultados das outras fontes de dados. De forma geral, e possivelmente impactada pelo grau de implantação da Fábrica de Aprendizagem, no qual as características desta dimensão podem ainda não terem sido apropriadamente debatidas, e certamente não foram ainda definidas de forma estruturada, a classificação resultante para a maioria das características é considerada preliminar, com poucos consensos levando a classificações plenas.
	Q29CP	
	Q74ME	
	Q75ME	
	Q76ME	
	Q88PAP	
	Q89PAP	
	Q77ME	
	Q78ME	
	Q79ME	
	Q90PAP	
	Q91PAP	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.7 Métricas

Abrange os resultados referentes às questões de números Q80ME, Q81ME, Q82ME, Q83ME, Q12AO, Q13AO e Q14AO.

Práticas atuais do departamento conduzindo a implantação da Fábrica de Aprendizagem, de divisão de turmas de tamanho superior a cinquenta alunos por duas turmas para aulas práticas, guiaram os entrevistados na classificação com relação à quantidade de participantes por treinamento. E estimativas diferentes para cada entrevistado com relação à quantidade de treinamentos padronizados, com menções às quatro alternativas possíveis, inviabilizam a classificação desta característica.

A utilização da estrutura em conjunto com a educação da graduação também guiou a classificação com relação à duração média de cada treinamento, porém com pontos de vista diferentes: considerando cursos totalmente conduzidos na Fábrica de Aprendizagem, o que leva à classificação superior a vinte dias de duração, e a aplicação da fábrica como componente dentro das disciplinas atuais, o que leva à classificação entre um e cinco dias de duração.

Classificação baseada em estimativas pessoais dos entrevistados na característica referente à quantidade de participantes por ano, com isolada menção estimando em número superior a mil participantes por ano; foi preponderante a classificação entre cinquenta e duzentos participantes por ano.

Também estimativas pessoais, neste caso para o primeiro ano de operação da Fábrica de Aprendizagem, levam à classificação da característica capacidade de utilização, com preponderância para a classificação entre 21 e 50%.

A área útil das instalações foi estimada pelos entrevistados de valores inferiores a 100m² a até 500m², mas classificada de forma definitiva com base nas plantas analisadas. Nas plantas foi possível identificar a área específica da Fábrica do Futuro 4.0 USP, superior a 620m² de espaço do Complexo PATEO totalmente dedicados, e superior a 380m² de áreas do Complexo PATEO compartilhadas com as outras três grandes áreas do mesmo. No caso da alocação, análise de eventos revela indisponibilidade de local para as instalações quando do início do projeto, destacando-se essa característica como um dos principais êxitos do projeto até o momento e creditado ao foco inicial da equipe de priorização pela busca por financiamentos e estabelecimento da Infraestrutura Sociotécnica.

Resultados das entrevistas com os docentes estabeleceram a classificação quanto à ausência de alocação de funcionários na Fábrica de Aprendizagem.

A classificação alcançada para a dimensão Métricas encontra-se ilustrada na Figura 28, com descrição das conclusões no Quadro 20.

Figura 28 - Classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP – Métricas

Nº de participantes por treinamento	1 a 5 participantes	5 a 10 participantes	10 a 15 participantes	15 a 30 participantes	> 30 participantes
Nº de treinamentos padronizados	1 treinamento	2 a 4 treinamentos	5 a 10 treinamentos	> 10 treinamentos	
Duração média de cada treinamento	< 1 dia	1 a 2 dias	3 a 5 dias	5 a 10 dias	> 10 dias
Participantes por ano	< 50 participantes	50 a 200 participantes	201 a 500 participantes	501 a 1000 participantes	> 1000 participantes
Capacidade de utilização	< 10%	10 a 20%	21 a 50%	51 a 75%	76 a 100%
Tamanho da Fábrica de Aprendizagem	< 100 m ²	100 a 300 m ²	300 a 500 m ²	500 a 1000 m ²	> 1000 m ²
Funcionários na Fábrica de Aprendizagem	< 1	2 a 4	5 a 9	10 a 15	> 15

Legenda: Plena classificação Classificação incerta Classificação inviável

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tisch et al. (2015) , tradução nossa.

Quadro 20 - Conclusões dimensão Métricas

Dimensão de classificação • Métricas	Q80ME	Com classificação praticamente baseada nas entrevistas, esta dimensão teve classificação influenciada por estimativas dos entrevistados e práticas atuais do departamento, resultando em incertezas.
	Q81ME	
	Q82ME	A ausência de evidências documentais para as características relacionadas à Infraestrutura Didática indica potencial não consideração de forma estruturada no planejamento e desenvolvimento realizados até o momento.
	Q83ME	
	Q12AO	Exceção ao dimensionamento da estrutura, com classificação plena evidenciado por planta do planejamento do complexo PATEO. A classificação da característica referente à alocação de funcionários é, apesar de baseada apenas nas entrevistas, considerada plena por domínio do assunto por parte dos docentes entrevistados.
	Q13AO	
	A14AO	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO

Esta Seção, com o propósito de descrever e analisar o processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP, está estruturada conforme as etapas do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016), aderentes à sequência definida para o questionário utilizado para as entrevistas e para a análise dos dados.

Por assuntos comuns entre as estruturas descritivas proporcionadas pelas sete dimensões de classificação de Fábrica de Aprendizagem de Tisch et al. (2015), utilizadas como estrutura da Seção 4.2, e as etapas do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016), com relação às questões do questionário,

cada etapa descrita nas subseções na sequência irá considerar os resultados de questões do questionário já analisadas e descritos na Seção 4.2.

4.3.1 Ambiente organizacional

Abrange os resultados referentes a todas as questões codificadas como AO, do número Q01 a Q15.

Objeto de estudo desta dissertação de mestrado, a Fábrica do Futuro 4.0 USP é o resultado de um projeto iniciado no ano de 2016, com operação sob responsabilidade da Universidade de São Paulo. Sendo estabelecida como uma das quatro grandes áreas do complexo de Laboratórios Multidisciplinares Avançados PATEO (Laboratório de Games e Soluções Digitais), têm a gestão administrativa e financeira conduzida pela própria universidade, ou por fundação ligada à mesma (FUSP - Fundação de Apoio à Universidade). Além do compromisso de possuir um regimento próprio atendendo a regras da universidade, como evidência de sua operação pela mesma, está por se estabelecer por um período de dez anos, com avaliação para definição por sua continuidade após os primeiros cinco anos, outro aspecto próprio da operação pela universidade.

O projeto de desenvolvimento, conduzido de forma independente de parcerias em seus dois primeiros anos com docentes do Departamento de Produção da Escola Politécnica da USP (PRO) como responsáveis, têm na pessoa de um dos docentes seu principal responsável. Com maior carga de atribuições ao longo do projeto da Fábrica de Aprendizagem, o docente aparece também em documentos como coordenador das comissões científica e executiva do complexo de laboratórios dos quais a fábrica faz parte. Além do docente mencionado, o projeto foi em grande parte suportado pela atuação ativa de aluno doutorando/pesquisador assistente de equipe de pesquisa envolvida com o projeto. Dedicção ao projeto foi também identificada por parte de alunos de graduação, que tiveram em seus trabalhos de conclusão de curso aspectos como início do projeto e descrições relacionadas à Infraestrutura Sociotécnica abordados.

A condução do projeto sob responsabilidade isolada do PRO é evidenciada em documento analisado, no qual o departamento é mencionado como o único envolvido no projeto. A participação de representantes de outras grandes áreas da engenharia

se dá por meio da participação nas comissões mencionadas, potencial de uso multidisciplinar no futuro.

Relevante aspecto identificado quanto ao projeto diz respeito ao foco adotado pela equipe como prioridade desde as reuniões iniciais. Iniciado a partir de recursos limitados, como descrito na sequência, o projeto pode ser interpretado como um caso de implantação de uma variação simplificada e limitada de Fábrica de Aprendizagem, conforme descrito em Wagner et al. (2012), lacuna identificada na Seção 1.3. Como tal, demandou da equipe a priorização de aspectos relacionados à captação de recursos para composição do financiamento inicial e financiamento durante a operação, assim como foco na conversão dos recursos captados em realidade da Infraestrutura Sociotécnica de forma a viabilizar sua operação. Como consequência, não considerada como motivo de demérito aos resultados alcançados até então, aspectos relacionados à infraestrutura didática não tiveram até o momento evidências identificadas de consideração de forma estruturada. Entre elas, são relacionadas nesta etapa de Ambiente Organizacional a responsabilidade pela condução da instrução, incertezas relacionadas à capacidade de utilização e ao modelo de negócio para treinamentos, características ainda não formalmente estabelecidas.

Em reuniões observadas quando do início do projeto em 2016, foi constatada absoluta indisponibilidade de local para as instalações sendo planejadas, ficando sob a responsabilidade dos docentes do PRO a condução de negociação de potenciais alocações. Assunto identificado como de extrema relevância nas primeiras reuniões observadas por seu potencial impacto negativo na prospecção por parcerias que estava se iniciando, teve como opções iniciais o remanejamento de salas e laboratórios internos do departamento, remanejamento da biblioteca, e remanejamento das instalações da Superintendência de Tecnologia da Informação USP. Foi instalada em caráter piloto em 2017 em sala do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica até que, conforme mencionado em documento de solicitação de apoio ao ensino baseado em projetos, a reitoria da universidade destinou local nobre para sua futura expansão de espaço e de atividades.

Identificada em versão anterior de planta como um estacionamento no andar térreo de uma das alas do edifício InovaUSP, a alocação não era inicialmente destinada à Fábrica de Aprendizagem, o que se deu a partir da incorporação da mesma como uma das quatro grandes áreas componentes do complexo PATEO. Conforme documentos

atualizados de projeto, suas instalações terão uma área superior a 620m² dividida entre a Fábrica, seus escritórios e área destinada a demonstrações e exposições. Contará também com estruturas compartilhadas no primeiro andar do edifício, totalizando mais de 380m² divididos entre salas para aprendizado baseado em projetos (*PBL*), espaços de convivência e cozinha/refeitório, e ala de apresentações. Além de local para as futuras instalações, quando das primeiras reuniões de projeto em 2016 foi observado que nem o investimento inicial estava de fato já disponibilizado para consumo, pois a conferência da de fato disponibilidade foi registrada como tarefa para um dos participantes quando da segunda reunião de projeto observada.

Obtido a partir de projeto inicial aprovado pela Pró-Reitoria de Graduação da universidade, e considerado por contato entrevistado como a etapa inicial do projeto, o financiamento inicial do projeto teve sua origem definitivamente identificada nas entrevistas com os contatos docentes, que o descreveram como sendo proveniente de doação de parceiro privado da universidade não ligado a nenhum projeto da Fábrica de Aprendizagem, não orçamentário e classificado como recursos internos pois poderiam ter outra destinação.

Identificado desde o início como limitado para um projeto desta magnitude, foi considerado nos primeiros orçamentos e aquisições de mobiliário industrial e equipamentos.

Evidências de entrevistas e documentais revelam investimentos ainda considerados iniciais, já obtidos como resultados de adoção de espaços do complexo PATEO por patrocinadores, e de parcerias do complexo (das quais a Fábrica é também beneficiária) e específicas da Fábrica, assim como oriundos de fundações de fomento à pesquisa e de ex-alunos da universidade. A evolução dos recursos captados foi acompanhada e demonstrada pela equipe, conforme identificado em diferentes versões de documentos analisados sob o título de “Status captação de doações (Edital USP)”.

Recursos também iniciais são identificados como provenientes da universidade, referentes à condução das obras de instalação prévias à inauguração de fato da Fábrica.

O financiamento durante a operação (médio prazo), interpretado pelos entrevistados como proveniente das três fontes potenciais (Internos, públicos e privados), têm parcela provida pela universidade através de infraestrutura e recursos básicos de operação e serviços como água, energia elétrica e internet (aspecto incluído em

contrato firmado com os parceiros), pelo governo através de fundações de fomento à pesquisa, e privados oriundos dos parceiros, com contratos sendo estabelecidos por períodos limitados (3 a 5 anos). Incertezas recaem, conforme consenso entre os entrevistados, sobre o financiamento para continuidade da operação (longo prazo), o que inclui o não provimento atual de funcionário(s) dedicado(s) à operação. Expectativas de mudança significativa deste cenário recaem sobre resultados de candidatura ao Edital de Chamamento Público Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2018), do qual a Fábrica do Futuro 4.0 USP foi candidata e obteve êxito, assegurando o provimento de relevante aporte financeiro à continuidade do projeto a partir de então.

Parcerias na etapa Ambiente Organizacional são passíveis de serem consideradas de forma interdepartamental na universidade (ZIEMIAN; SHARMA, 2008), com outras Fábricas de Aprendizagem (WEEBER et al., 2016), e de forma a ser um elo de ligação entre a universidade, a indústria e o governo (VEZA; GJELDUM; MLADINEO, 2015). Com desenvolvimento da Fábrica de Aprendizagem concentrado no PRO, parcerias interdepartamentais para evolução de seu desenvolvimento e uso são consideradas pelos entrevistados como apenas potenciais. Neste caso, consideram não operação conjunta para entrar em operação, mas a contribuição das grandes áreas de Engenharias Elétrica, Mecânica e Mecatrônica. Reuniões observadas no início do projeto registram participação de representante de unidade da USP de fora da Escola Politécnica (FEA – Faculdade de Economia e Administração). Documentos corroboram a concentração para entrada em operação no PRO, com menção a condução de disciplinas apenas deste departamento:

- PRO2512 - Automação e Controle;
- PRO2511 - Laboratório de Sistemas de Informação;
- PRO2611 – Contabilidade e Custos;
- PRO2612 – Engenharia Econômica e Finanças;
- PRO2311 – Administração e Organização;
- PRO2312 – Organização do Trabalho na Produção;
- PRO2313 – Ergonomia, Saúde, Segurança no Trabalho;
- PRO2412 – Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção;
- PRO2415 – Planejamento, Programação e Controle da Produção;
- PRO2416 – Logística e Cadeias de Suprimento;

- PRO2420 – Projeto de Fábrica;
- PRO2712 – Controle da Qualidade;
- PRO2715 – Projeto do Produto e do Processo;
- PRO2614 – Princípios de Marketing para Engenharia de Produção; e
- PRO2713 – Gestão da Qualidade de Produtos e Processos.

Porém, a menção das instalações como infraestrutura compartilhada na graduação da Escola Politécnica da USP e a participação conjunta de representantes de outras faculdades como o Instituto de Biociências, a Escola de Engenharia de São Carlos, e Engenharias Mecatrônica, de Computação e Eletrônica da Escola Politécnica da USP, nas comissões científica e executiva do complexo PATEO, são evidências adicionais de futuras parcerias interdepartamentais.

Parcerias com outras Fábricas de Aprendizagem são tratada como não existentes pelos entrevistados, mas como objetivo. Também mencionadas como inexistentes em reunião observada, há em documentos registros que sugerem eventuais práticas ativas, relacionadas à produção conjunta com faculdade de engenharia fora do complexo da Escola Politécnica, e gestão de produção remota / distribuída em relação a Fábricas de Aprendizagem na Alemanha.

Parcerias com empresas e indústrias tiveram sua prospecção iniciada praticamente junto ao projeto, focada na obtenção de *hardware*, *software* e horas de trabalho, tarefa que foi inicialmente dificultada pela então indefinição de local físico para a alocação, e pelo fato de que outras instituições estudantis disputavam com a Fábrica do Futuro 4.0 USP as mesmas parcerias. Fomentadas pelo governo através do edital Ministério da Indústria , Comércio Exterior e Serviços (2018), do qual a Fábrica do Futuro 4.0 USP foi candidata e obteve êxito, parcerias foram evidenciadas em documentos como válidas, com direitos e deveres formalmente estabelecidos, para com seis empresas *Startups* de tecnologia, seis empresas fornecedoras, quatro empresas usuárias, e duas empresas de pequeno ou médio porte (PME). Participação de representantes dessas empresas em reuniões de projeto foram comprovadas em eventos observados. Adicionalmente, documentos evidenciam apoios de três entidades setoriais de representação de indústrias.

Apesar de parcialmente diferentes justificativas para as classificações em seus três eixos, foi consenso entre os entrevistados a classificação da Fábrica de Aprendizagem objeto de estudo desta dissertação de mestrado no sentido amplo, conforme Abele et

al. (2015), Figura 8, coerente com as classificações atribuídas na Seção 4.2 às características relacionadas aos eixos.

4.3.2 Objetivos organizacionais

Abrange os resultados referentes a todas as questões codificadas como OO, do número Q16 a Q23. Etapa do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016) fortemente caracterizada por assuntos considerados prévios e diretamente relacionados ao desenvolvimento da infraestrutura didática, é uma das etapas que trata de aspectos para os quais foi identificado que o desenvolvimento da Fábrica do Futuro 4.0 USP dedicará esforços a partir da plena implementação da Infraestrutura Sociotécnica, conforme foco inicial da equipe já abordado em 4.3.1.

Em Enke, Tisch e Meternich (2016), os autores se propõem ao estudo dos requisitos de *stakeholders* de Fabricas de Aprendizagem, aspecto considerado como pertinente e como um dos passos iniciais da etapa de definição dos objetivos organizacionais. Conforme consenso obtido nos resultados das entrevistas, não foi evidenciada identificação formal dos *stakeholders* da Fábrica de Aprendizagem analisada, assim como prática de abordagem metodológica para tal. A não identificação formal dos *stakeholders* da Fábrica de Aprendizagem analisada remete à conclusão de que não há garantia de que os requisitos de todos os potenciais interessados na mesma tenham sido considerados na definição dos objetivos organizacionais.

Considerado como uma decorrência natural do cenário exposto e conforme resultados já tratados nas Subseções 4.2.2 e 4.2.3, pode-se verificar que o processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP não contemplou até o momento a definição formal de objetivos organizacionais, desde seus propósitos principal e secundário, até seus desdobramentos, como os assuntos tratados no conteúdo dos treinamentos, tópicos de pesquisa e funções indiretas consideradas. Característico quanto à não definição formal dos objetivos organizacionais está a limitada disponibilidade de evidências de outras fontes de dados além das entrevistas.

Um objetivo organizacional identificado como totalmente definido diz respeito à utilização da Fábrica de Aprendizagem como instalação de pesquisa, o que é tido como certo a partir das entrevistas.

Eventual potencial comprometimento das etapas seguintes do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016) no processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP, pela não plena definição dos objetivos organizacionais até o momento, não foi percebido a partir das evidências analisadas, visto que o processo de implantação como um todo está sob controle da equipe e aderente ao foco inicial e possibilidades alcançadas até então.

4.3.3 Público-Alvo

Abrange os resultados referentes a todas as questões codificadas como PA, do número Q24 a Q27. Outra etapa do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016) que trata de aspectos para os quais foi identificado que o desenvolvimento da Fábrica do Futuro 4.0 USP dedicará esforços a partir da plena implementação da Infraestrutura Sociotécnica, conforme foco inicial da equipe já abordado em 4.3.1.

As questões de números Q24PA, Q25PA e Q26PA apresentam, na Subseção 4.2.2, resultados parcialmente inconclusivos para classificação. Diferentes indústrias-alvo foram sugeridas por parte dos entrevistados, não de forma unânime, na questão de número Q27PA, a saber: Médica, Biotecnologia e de Tecnologia da Informação. Também diferentes indústrias-alvo foram identificadas em análise de documentos, a saber: Bens de Capital/Máquinas e Equipamentos. Em conjunto, quanto à descrição do processo, evidenciam não realização estruturada da etapa de identificação do público-alvo da Fábrica de Aprendizagem.

4.3.4 Competências pretendidas

Abrange os resultados referentes a todas as questões codificadas como CP, do número Q28 a Q36.

O primeiro aspecto a considerar nesta etapa diz respeito ao resultado para a questão Q28CP, na Subseção 4.2.6, que é de apenas uma sugestão de classificação, baseada apenas em dados de entrevistas. A ausência de evidências documentadas para questão relacionada às competências pretendidas se soma à evidência concluída a partir das informações fornecidas pelos entrevistados para a Q30CP, específica para a principal transição do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem:

Não há formalmente evidência de realização da 1ª Transformação Didática, isto é, de que as competências pretendidas tenham sido de fato estabelecidas ou documentadas considerando o ambiente organizacional, os objetivos organizacionais e o público-alvo da Fábrica de Aprendizagem para o seu estabelecimento. Em reuniões de início de projeto acompanhadas em 2016, havia ainda evidências registradas de incerteza em debates quanto ao futuro uso das instalações, sobre as opções de produto e produção antes de se considerar o que seria de fato ensinado, e de debate quanto à fabricação ou não de peças ou componentes do produto final, ambas independentes de orientação para eventuais competências pretendidas previamente definidas.

Diferentes opiniões dos entrevistados com relação à consideração ou não de deficiências reclamadas pela indústria na definição das competências pretendidas também evidenciam definição que poderia ser mais estruturada, mesmo resultado apresentado ao serem questionados sobre a consideração de *soft skills*. Exceção quando do questionamento sobre a consideração de tendências da manufatura atual, assuntos tratados na Seção 2.1, para o qual todos os entrevistados responderam positivamente, e há registros relacionados em eventos observados e documentos analisados. Porém, para todos os casos, sem evidências de estabelecimento e documentação das competências pretendidas e, como consequência, também não das saídas de aprendizado esperadas.

Isso de certa forma se deve a estratégia de posicionamento e de operação da Fábrica de Aprendizagem como infraestrutura a ser compartilhada por diversos pesquisadores, cursos e unidades internas e externas à USP, permitindo então alto grau de liberdade para os usuários determinarem os seus próprios objetivos de aprendizagem, em comparação com definição mais centralizada proposta por Tisch et al. (2016). Adicionalmente, é esta a principal etapa do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016) em que se leva em conta o foco inicial da equipe de priorização pela busca por financiamentos e estabelecimento da Infraestrutura Sociotécnica, com posterior dedicação a assuntos relacionados à infraestrutura didática, sem que tivesse sido identificada perda de controle do processo como um todo por parte da equipe de implantação.

Outro importante resultado relacionado à etapa das competências pretendidas diz respeito ao desdobramento das mesmas para o *Meso Level* ou nível intermediário, atividade que, segundo os entrevistados, não foi ainda iniciada, com ausência de

evidência de outras fontes de dados suportando essa condição. O não início até o momento do desdobramento para o nível intermediário se soma como evidência da potencial tratativa posterior de assuntos relacionados à infraestrutura didática por parte da equipe, sem comprometimento do resultado final.

4.3.5 Infraestrutura Sociotécnica

Abrange os resultados referentes a todas as questões codificadas como EF, do número Q37 a Q59, e todas codificadas como P, do número Q60 a Q73. Considerando os resultados registrados na subseção anterior, a definição da Infraestrutura Sociotécnica da Fábrica do Futuro 4.0 USP teve como entradas e desenvolvimento simultâneo os aspectos relacionados à etapa Ambiente Organizacional.

Nas primeiras reuniões de projeto observadas em 2016, o produto skate era mencionado como definido, e teve debates sobre seus aspectos realizados em paralelo aos assuntos relacionados à etapa Ambiente Organizacional, tratada na Subseção 4.3.1. Também relatos de entrevistas reportam que foi considerada outra opção, no caso a fabricação de bicicletas, porém descartada por limitações técnicas relacionadas à fabricação do quadro. De acordo com as entrevistas, a opção pelo skate foi influenciada por um dos professores envolvidos no projeto da fábrica que já tinha um caso didático relacionado ao skate, e por critérios como tamanho compacto, baixo custo, facilidade de desmontagem e possibilidade de reaproveitamento, critérios estes não diretamente ligados à utilização em Fábricas de Aprendizagem, como avaliado pelas questões de número Q61P, Q65P e Q66P (Conceito Produto Real em contraste com Produto para Fábricas de Aprendizagem). De acordo com evidência documentada, que também apresenta detalhes de utilização anterior do produto como caso de estudo por três disciplinas, a seleção do produto foi realizada com base em cinco critérios, listados abaixo. Neste caso, todos à exceção do primeiro são diretamente relacionados a Fábricas de Aprendizagem ou à vocação da Fábrica de Aprendizagem objeto desta pesquisa, voltada para aspectos da Indústria 4.0:

- Relevância em problema complexo para a sociedade, no caso a mobilidade urbana;
- Variedade de materiais e de processos produtivos, viáveis para produção em um laboratório didático, permitindo simular empresas reais;

- Simplicidade da estrutura do produto e de seus componentes, possibilitando a reutilização com baixo custo operacional, viabilizando o uso do ambiente e materiais em vários anos seguidos, sem demandar significativos recursos de orçamento para custeio;
- Possibilidade de incorporação de serviços agregados e modernos, típicos de produtos conectados à internet;
- Possibilidade de produção altamente customizada, típica dos ambientes de indústria 4.0.

Tido atualmente por definido, o produto possibilitou na Seção 4.2 a classificação plena de todas as características de dimensão relacionadas ao mesmo, assim como de características do processo produtivo relacionadas ou derivadas da opção pelo produto, neste caso mesmo que parcialmente. Com relação à sua definição e desenvolvimento, resultados de entrevistas revelam pela não realização de acordo com um método estruturado, com por exemplo o definido em Wagner et al. (2014b), assim como não apresentam evidências de que seu desenvolvimento considerou a comparação do Conceito Produto Real em contraste com Produto para Fábricas de Aprendizagem. Por enquanto ainda não houve aplicação formal do conceito *DFD* (Design for Disassembly - Projeto para Desmontagem), porém é evidenciada a consideração informal do mesmo pela equipe, conforme critério de seleção do produto listado acima que trata da reutilização de componentes do produto.

Registros de observações e documentos do início do projeto demonstram que a possibilidade de manufatura de componentes, no caso processos químico e de usinagem de rodinhas, assim como confecção do *shape*, foi considerada como uma possibilidade, porém registros de entrevistas revelam que a possibilidade foi descartada, sendo atualmente mantida apenas a manufatura de lote didático do componente caixa de conectividade.

Conforme declaração em entrevista, primeiro foi feita a definição do produto, para depois definir e tornar viável a estrutura para produzi-lo, assunto que foi adotado como prioridade pela equipe, conforme já mencionado. Nas primeiras reuniões observadas, com produto skate já definido, não havia definição completa do sistema técnico da Fábrica de Aprendizagem abrangendo métodos de manufatura a serem aplicados, definição quanto à fabricação ou não de componentes, e do consequente fluxo de produção, já requerido na época por docentes participantes do projeto. O fluxo definitivo foi novamente identificado como uma demanda nas primeiras reuniões

observadas já com a participação dos parceiros, em 2018, por ser necessário para a definição dos próximos passos dos mesmos com relação à introdução de tecnologias e equipamentos. Teve o início de sua definição, conforme registros de documento analisado, em conjunto com os parceiros, no segundo semestre de 2018, quando foi possível à equipe passar à materialização dos até então planos para a Infraestrutura Sociotécnica. Documento analisado registra a produção em doze etapas de montagem base e três de customização subsequentes, expostas no Quadro 21.

O documento considerava duas opções de fluxo de produção, identificadas como Solução A e B, respectivamente *milkrun* e fluxo de uma peça. Versão nomeada como otimizada do layout é documentada em Hupfeld (2018), conforme Figura 29.

A definição do fluxo de produção, identificada em fase de preparação quando da realização da coleta de dados, pode ter relação com classificações de características relacionadas ao processo produtivo registradas na Seção 4.2 e não alcançadas de forma plena, relacionadas aos ciclos de vida do sistema técnico, funções indiretas na produção, tipo de processo, organização da manufatura, métodos de manufatura, escala do ambiente e níveis do sistema de trabalho.

Quadro 21 - Descrição das etapas do processo da Fábrica do Futuro 4.0 USP

ETAPA	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	ESTAÇÃO DE TRABALHO
1	Busca pelo <i>shape</i> requerido (Peça N° 1), manuseio para bancada, posicionamento com a parte de baixo voltada para cima.	Estação de trabalho N° 1
2	Pegar <i>scanner</i> , fazer a leitura do <i>QR Code</i> do <i>shape</i> , e devolver o <i>scanner</i> à posição.	Estação de trabalho N° 1
3	Virar o <i>shape</i> com a parte de cima voltada para cima.	Estação de trabalho N° 1
4	Posicionar 8 parafusos (Peça N° 7) no <i>shape</i> , em seus respectivo furos.	Estação de trabalho N° 1
5	Pegar cobertura, posicioná-la acima dos parafusos, e virar o <i>shape</i> com a parte de cima voltada para baixo.	Estação de trabalho N° 1
6	Pegar 2 <i>trucks</i> (Peça N° 2) e o <i>scanner</i> , fazer leitura do <i>QR Code</i> , devolver o <i>scanner</i> à posição e posicionar os <i>trucks</i> no <i>shape</i> .	Estação de trabalho N° 1
7	Pegar 8 porcas (Peça N° 8) e posicioná-las nos parafusos.	Estação de trabalho N° 1
8	Pegar parafusadeira elétrica, fazer o parafusamento das porcas, e devolver a parafusadeira à posição.	Estação de trabalho N° 1
9	Busca por 4 rodas requeridas (Peça N° 3), pegar <i>scanner</i> , fazer a leitura das rodas, pegar 4 espaçadores de rodas (Peça N° 5) e 8 rolamentos (Peça N° 4), e montar nos <i>trucks</i> .	Estação de trabalho N° 2
10	Pegar porcas (Peça N° 6) e posicioná-las nas pontas de eixos dos <i>trucks</i> .	Estação de trabalho N° 2
11	Pegar parafusadeira elétrica, parafusar porcas do primeiro lado, virar o skate, parafusar porcas do outro lado e devolver parafusadeira à posição.	Estação de trabalho N° 2
12	Passar o skate para a próxima estação e devolver a cobertura.	Estação de trabalho N° 2
13	Aplicar torque customizado nos <i>trucks</i> .	Estação de trabalho N° 3
14	Aplicar adesivo de localização customizado no <i>shape</i> , com auxílio de realidade aumentada.	Estação de trabalho N° 3
15	Instalar caixa de conectividade.	Estação de trabalho N° 4

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Hupfeld (2018) , tradução nossa.

Figura 29 - Layout otimizado da Fábrica do Futuro 4.0 USP

Fonte: Adaptado com base em Hupfeld (2018) , tradução nossa.

Evidências não foram encontradas de utilização de abordagem estruturada para configuração do sistema técnico da Fábrica de Aprendizagem (TISCH et al., 2017), assim como também não de consideração formal de sistemas de manufatura adaptáveis (WAGNER et al., 2012). No caso de sistemas de manufatura adaptáveis, foi durante a coleta de dados identificado o direcionamento do planejamento da Infraestrutura Sociotécnica para tal, por exemplo nas atividades de orçamento e aquisição de equipamentos, ainda que não de forma estruturada.

Até o encerramento da coleta de dados, foi evidenciada disponibilidade dos equipamentos planejados e adquiridos com o limitado investimento inicial, antes mesmo da definição do fluxo de produção, para os quais orçamentos já estavam disponíveis quando das primeiras reuniões do projeto. A relação dos equipamentos é demonstrada no Quadro 22. Adicionalmente, no documento foram identificadas aquisições posteriores ao investimento inicial, demonstradas no Quadro 23.

Quadro 22 - Relação de equipamentos disponibilizados com o investimento inicial

CATEGORIA	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE
Conectividade	Leitor QRC	3
	Impressora QRC	1
	Etiquetas RFID	1
	Impressora RFID Zebra	1
	Coletor de dados	1
Montagem	Parafusadeira	3
	Monitor industrial touchscreen	3
	Bancada modular para montagem	5
	Carrinho modular para montagem	1
Rede	Roteador com 3 antenas	1
	Servidor Windows	1
Transporte	Carrinho de transporte	2
	Paleteira manual	1

Fonte: Base de dados de documentos avaliados.

Quadro 23 - Relação de equipamentos disponibilizados posteriores ao investimento inicial

CATEGORIA	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE
Manufatura	Impressora 3D	2
	Sistema de corte a laser	1
	Scanner 3D	1

Fonte: Base de dados de documentos avaliados.

Aspectos relacionados a tendências da manufatura atual que estão sendo considerados dentro do escopo, tratados na Seção 2.1, foram registrados sendo debatidos nas primeiras reuniões de projetos, assim como também nas recentes com a participação dos parceiros, e aparecem mencionadas em diversos documentos analisados como embasamento e justificativa para o projeto. Como exemplo, podem ser citados produto inteligente e produção inteligente, identificação individual de componentes, utilização de *RFID* e *QR Code*, produção remota/distribuída, montagem customizada, automação flexível, visão computacional e aprendizado de máquina, inteligência artificial aplicada à produção, *Digital Twin*, pedidos por aplicativos e Internet das Coisas para suportar Sistemas Produto-Serviço. Aparecem também na definição dos desafios tecnológicos centrais da Fábrica do Futuro 4.0 USP, nomeados pela equipe com base em pesquisa por eles conduzida para identificação dos conceitos e tecnologias mais presentes em demonstradores de manufatura avançada no mundo:

- Montagem customizada, com base em automação flexível e sistemas ciber-físicos, envolvendo também *smart assembly* e rastreamento;
- Aplicação de inteligência artificial e de aprendizado de máquina na produção e no controle de qualidade;
- Monitoramento remoto de máquinas e produção distribuída;
- Manufatura aditiva para baixas séries;
- Representação virtual do produto ao longo de todo o ciclo de vida, por meio do *Digital Twin*.

4.3.6 Infraestrutura didática

Abrange os resultados referentes a todas as questões codificadas como ME, do número Q74 a Q87, e todas codificadas como PAP, do número Q88 a Q93.

Esta etapa teve, conforme foco adotado pela equipe de priorização em tornar a Infraestrutura Sociotécnica uma realidade, seu desenvolvimento identificado como por ser iniciado. Classificações indefinidas registradas nas Subseções 4.2.6 e 4.2.7 para características relacionadas ao método de ensino e processo de aprendizagem são indicadoras do estado inicial de desenvolvimento da aplicação didática da Fábrica do Futuro 4.0 USP no momento de conclusão da coleta de dados deste trabalho, sendo

esperado então o desenvolvimento futuro desse aspecto. A aplicação da tabela de morfologia de métodos de ensino de Tisch et al. (2016) aos entrevistados também resulta em classificação não plenamente definida para 15 das 18 grupos de características.

Na Subseção 4.3.4 é apresentado resultado de desdobramento das competências para o nível intermediário não iniciado, e este resultado é corroborado nesta etapa. Além das questões relacionadas à classificação, já analisadas, todas as questões adicionais relacionadas ao método de ensino e processo de aprendizagem resultam em respostas direcionadas para desenvolvimento e decisões ainda por serem iniciados.

5 RECOMENDAÇÕES

Este capítulo é baseado nos resultados apresentados no Capítulo 4, de forma a consolidar uma posição de recomendações voltadas para o aperfeiçoamento e/ou melhoria do processo de implantação da Fábrica do Futuro 4.0 USP. Têm como foco o direcionamento do processo a uma completa classificação da estrutura conforme as sete dimensões de classificação de Fábrica de Aprendizagem de Tisch et al. (2015), assim como direcionamento do processo às práticas do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016), em conformidade à questão de pesquisa de número 3. Como premissa, considera relevante a continuidade a partir do foco inicial adotado pela equipe, para o qual foi identificado no Capítulo 4 a dedicação às etapas Ambiente Organizacional e Infraestrutura Sociotécnica. A sequência de prioridades das recomendações, definida e documentada através da sequência das seguintes subseções, foi determinada a partir dessa premissa.

A partir dos resultados do Capítulo 4, que foi estruturado de forma guiada pelas duas estruturas descritivas de Tisch et al. (2015) e Tisch et al. (2016), este Capítulo 5 apresentará recomendações de forma consolidada, e não individualizada, para as duas estruturas descritivas mencionadas.

5.1 DOCUMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA SOCIOTÉCNICA

A partir de lacunas de classificação das dimensões Processo e Configuração, identificadas nas subseções 4.2.3 e 4.2.4, esta dissertação de mestrado têm como recomendação inicial a plena definição e documentação da Infraestrutura Sociotécnica da Fábrica do Futuro 4.0 USP. Partindo do conteúdo dos dados analisados, é considerado pertinente que esta etapa seja precedida pela provisão de debates que considerem os êxitos já de fato alcançados quanto ao desenvolvimento da Infraestrutura Sociotécnica, e o direcionamento e desenvolvimento futuro. Guiados pelas características tratadas nas questões das subseções 4.2.3 e 4.2.4 mencionadas, é entendido que dos debates resultarão consenso quanto aos aspectos já estabelecidos para a estrutura, formalização voltada à plena classificação, e consequente uniformização da informação entre a equipe. Adicionalmente, com as

questões de classificação como guia, os debates promoverão direcionamento para aspectos ainda não considerados no desenvolvimento até então.

Lacunas identificadas na subseção 4.3.5 relacionada à etapa Infraestrutura Sociotécnica conferem relevância à proposição de 3 aspectos de recomendações relacionadas ao assunto. Primeiramente, com a experiência alcançada pela equipe no desenvolvimento conduzido até então, pode a mesma considerar nos debates a viabilidade e pertinência de adoção, para o prosseguimento dos trabalhos e desenvolvimentos futuros, de abordagem estruturada para configuração do sistema técnico da Fábrica de Aprendizagem conforme Tisch et al. (2017). Abordagem baseada nas dimensões de Tisch et al. (2015) e nas etapas de Tisch et al. (2016), contribui com o desenvolvimento de Fábricas de Aprendizagem por meio do uso de um método estruturado baseado em algoritmo voltado à maximização como um todo do sistema técnico da Fábrica de Aprendizagem.

Segundo, neste caso com base na experiência alcançada pela equipe na definição e aplicação do produto da Fábrica de Aprendizagem até então, pode a equipe também considerar a viabilidade e pertinência de adoção de método estruturado para desenvolvimento de produtos para Fábricas de Aprendizagem, como o exemplo de Wagner et al. (2014b) considerado na Subseção 2.3.3. Como principais benefícios da consideração diferenciada de produtos para Fábricas de Aprendizagem quando de seu desenvolvimento está a maximização do uso das instalações com respeito às suas limitações e voltada para a demonstração da maior quantidade de objetivos de aprendizagem possíveis, além de sua função como objeto de pesquisa para a indústria. Aspecto que esta dissertação de mestrado ressalta quando à adoção de método para desenvolvimento de produtos para Fábricas de Aprendizagem diz respeito à comparação entre um produto real, destinado à comercialização e geração de lucro, e um produto destinado a aplicação em uma Fábrica de Aprendizagem (ABELE et al., 2017; TISCH et al., 2015; WAGNER et al., 2014a). Adicionalmente, é recomendada a consideração formal do princípio de desmontagem – DFD (WAGNER et al., 2014a).

O terceiro aspecto de recomendação relacionado a lacunas identificadas na subseção 4.3.5 é derivado do foco inicial da equipe quanto ao desenvolvimento até então, dedicado às etapas Ambiente Organizacional e Infraestrutura Sociotécnica. É relacionado às recomendações consolidadas na Seção 5.3 Documentação e Desenvolvimento da Infraestrutura Didática, e trata-se da orientação dos futuros

desenvolvimentos da Infraestrutura Sociotécnica por competências, com entradas originadas a partir da etapa de Competências Pretendidas do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016).

5.2 MODELO DE NEGÓCIO

Lacunas de classificação das dimensões Modelo de Operação e Objetivos e Metas, identificadas nas subseções 4.2.1 e 4.2.2, assim como na descrição das etapas Ambiente Organizacional, Objetivos Organizacionais e Público-Alvo nas seções 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 têm suas recomendações promovidas a partir de evidência coletada em documento analisado – Ata de reunião status PATEO, datada de 05/02/2018. Como sugestão de um dos membros do conselho executivo do complexo PATEO, registrada na Ata, está o desenho do modelo de negócio para o complexo.

Tomando a Fábrica do Futuro 4.0 USP como uma das quatro grandes áreas do complexo PATEO, a sugestão de desenho, ou preparação, do modelo de negócio da Fábrica poderia endereçar três grupos de assuntos das lacunas citadas acima, e atuar como elo de ligação na tratativa de lacunas tratadas na Seção 5.3 Documentação e Desenvolvimento da Infraestrutura Didática.

O primeiro grupo de assuntos que poderia ser endereçado ao ser considerado como parte do desenho do modelo de negócio diz respeito aos financiamentos. Identificado na subseção 4.2.1 e descrito na 4.3.1 como assunto já tratado pela equipe quanto aos cenários a curto e médio prazos, têm incertezas registradas quanto ao cenário a longo prazo. A consideração deste assunto em um modelo, ou plano de negócio, poderia prover debate, uniformização de informação entre a equipe, e consequente documentação formal dos aspectos dos financiamentos a curto, médio e longo prazo. Como resultado, estaria suportada a plena classificação das características relacionadas da dimensão Modelo de Operação, e provida tratativa visando alcançar segurança quanto à sustentabilidade do projeto a longo prazo.

O segundo grupo de assuntos que poderia ser endereçado ao ser considerado como parte do desenho do modelo de negócio diz respeito à documentação e desenvolvimento da Infraestrutura Didática, assuntos que são nesta recomendação considerados introdutórios para essa finalidade. As lacunas identificadas dizem respeito à definição de futura responsabilidade pela instrução, definição do modelo de negócios para treinamentos, e definição dos propósitos abrangendo público-alvo e

suas características, assim como dos assuntos a serem abordados nos propósitos de educação e pesquisa. A consideração desta sugestão pela equipe, ou de prática alternativa, irá assegurar o pleno estabelecimento e documentação ainda demandada para classificação nas dimensões Modelo de Operação e Objetivo e Metas, assim como atendimento aos requisitos das etapas Ambiente Organizacional e Público-Alvo. Como complemento à tratativa do segundo grupo de assuntos, relacionado à dimensão Objetivos e Metas e à etapa Objetivos Organizacionais, esta dissertação de mestrado recomenda, por meio de uso de abordagem metodológica (ENKE; TISCH; METTERNICH, 2016), promover a identificação formal dos *stakeholders* da Fábrica de Aprendizagem, assim como de seus requisitos, que devem ser considerados para efeito da definição dos objetivos organizacionais. A abordagem metodológica sugerida, também baseada nas dimensões de Tisch et al. (2015) e nas etapas de Tisch et al. (2016), foi desenvolvida a partir de lacuna referente a provisão de análise das demandas de diferentes *stakeholders* de Fábricas de Aprendizagem, e parte da premissa de que o conceito de Fábricas de Aprendizagem pode ser adaptado e implementado de diversas formas, caso do objeto de análise desta dissertação de mestrado.

O terceiro grupo de assuntos que poderia ser endereçado ao ser considerado como parte do desenho do modelo de negócio diz respeito especificamente à etapa Ambiente Organizacional, mais especificamente quanto às parcerias envolvidas. Em Ziemian e Sharma (2008), a equipe encontra sugestão pela adoção de parcerias de forma interdepartamental na universidade, uma possibilidade identificada como real na subseção 4.3.4. Em Weeber et al. (2016), há a proposição de sistemática para identificação e uso de possíveis sinergias com diferentes Fábricas de Aprendizagem. A provisão de planejamento e ações voltadas à integração universidade-governo-indústria por meio da Fábrica de Aprendizagem, conforme o conceito *Triple Helix*, é tratada em Veza, Gjeldum e Mladineo (2015).

A provisão de satisfatória tratativa às recomendações relacionadas aos três grupos de assuntos mencionados acima é considerada introdutória para a tratativa dos assuntos relacionados à documentação e desenvolvimento da Infraestrutura Didática, tratados na Seção 5.3.

5.3 DOCUMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA DIDÁTICA

Lacunas de classificação das dimensões Didática e Métricas, identificadas nas subseções 4.2.6 e 4.2.7, assim como na descrição das etapas Competências Pretendidas e Infraestrutura Didática nas seções 4.3.4 e 4.3.6, são por esta dissertação de mestrado consideradas, após atendidos os objetivos do foco inicial da equipe e conduzida a preparação do modelo de negócio, como o foco seguinte a ser perseguido pela equipe.

Como ponto central deste grupo de recomendações está, em um primeiro momento, a realização da 1ª Transformação Didática (TISCH et al., 2016) a partir da atuação da equipe nas recomendações das Seções 5.2 e 5.3, estabelecendo as competências pretendidas, assim como as saídas de aprendizado esperadas, com base nas saídas dos requisitos organizacionais (etapas Ambiente Organizacional, Objetivos Organizacionais e Público-Alvo), nas deficiências reclamadas pela indústria com relação à formação de engenheiros, nas demandas por qualificação de engenheiros relacionadas à Indústria 4.0 tratadas na Seção 2.1 e que envolvem a introdução da Internet nas indústrias e produtos inteligentes integrados com os sistemas de produção físico-cibernéticos, e nos *soft skills*. A partir da documentação de forma estruturada de competências pretendidas e saídas de aprendizado esperadas, pode-se em um segundo momento realizar a 2ª Transformação Didática que pode, no caso da Infraestrutura Sociotécnica, envolver ajustes julgados pela equipe conforme critérios de viabilidade e relevância de realização. No caso da Infraestrutura Didática, certamente envolve o desenvolvimento, orientado por competências, de aspectos de mídia, métodos de ensino e processo de aprendizado, guiado pelas demandas documentadas através das questões do questionário e pelos aspectos de inovação na formação de engenheiros tratados na Seção 2.2. Como resultado, plena classificação das dimensões Didática e Métricas seria alcançada.

A conclusão satisfatória de classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP pode então ser formalizada conforme Mavrikios et al. (2017), por meio de *WEB Application* (LMS LABORATORY FOR MANUFACTURING SYSTEMS & AUTOMATION, 2015).

Para o desdobramento da etapa de competências pretendidas em direção ao desenvolvimento de módulos de aprendizado, do nível Macro (Fábrica de Aprendizagem) para os níveis Intermediário (Módulos de Ensino) e Micro (Situações de Aprendizagem), o resultado da pesquisa desta dissertação de mestrado propõe a

opção e adoção de metodologia estruturada para tal, conforme opções documentadas na subseção 2.3.3 (ENKE; KRAFT; METTERNICH, 2015; MÜLLER-FROMMEYER et al., 2017).

6 CONCLUSÃO

A partir de lacunas de conhecimento identificadas em dois contextos distintos, que são o novo cenário industrial da Indústria 4.0 e a introdução de inovações na formação de engenheiros focadas em maior exposição dos alunos a atividades práticas, esta dissertação de mestrado se propôs a pesquisar respostas às três questões de pesquisas estabelecidas na Seção 1.4, que de forma resumida estabeleceram um roteiro de pesquisa baseado em classificação, descrição do processo e proposição de recomendações.

A pesquisa foi conduzida por meio de um estudo de caso, que adotou o processo linear e iterativo de Yin (2015), para o qual são apresentadas as conclusões iniciais. Adotado por se caracterizar por um maior detalhamento, conteúdo e clareza quanto à divisão das etapas, foram estas características de grande contribuição para a organização do trabalho e conferência de rigor científico ao mesmo. A estrita aderência à sequência de etapas e ao escopo de cada uma delas individualmente proporcionou uma evolução lógica ao trabalho.

A conclusão favorável à metodologia adotada pode de forma individual ser corroborada por alguns exemplos. Inicialmente, o planejamento de aspectos de validade e confiabilidade do estudo de caso já na etapa de projeto, conforme Quadro 13, conferiu segurança para prosseguir no trabalho. Também de grande valia para a condução, neste caso para orientar a coleta de dados, foi a preparação do Protocolo do Estudo de Caso, que levou à preparação antecipada dos instrumentos de coleta e sumário dos dados. A codificação adotada para as questões do questionário, usado como referência para as entrevistas e para todo o processo de registros e análises das informações das três fontes de dados, pode ser destacada por sua eficácia em contribuir nas etapas de coleta e análise de evidências. E, para finalizar a conclusão favorável à metodologia adotada, destaque para a prática de análise antecipada imediatamente após os eventos, na etapa de coleta de evidências, pois os resultados desta análise antecipada contribuíram de forma direta para a composição da análise e conclusões finais.

A pesquisa focada na classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP se deu por meio da atribuição de questões do questionário de coleta de dados das entrevistas para cada uma das características das dimensões de classificação de Tisch et al. (2015), e relevantes resultados foram proporcionados por esta prática. De forma geral, foi

alcançada classificação plena para uma das dimensões (Produto), classificação com incertezas menores a serem sanadas para duas dimensões (Modelo de Operação e Configuração), e classificações consideradas de forma preliminar, apenas como referência para o prosseguimento dos trabalhos, para as demais quatro dimensões (Objetivos e Metas, Processo, Didática e Métricas).

Relevantes contribuições na busca pela plena classificação da Fábrica do Futuro 4.0 USP passam pela possível preparação de um plano de negócios, para o qual assuntos diversos com classificação incerta ou inviável teriam certamente debates esclarecedores entre a equipe, além da plena definição da Infraestrutura Sociotécnica e didática da Fábrica de Aprendizagem.

Preocupação maior foi identificada com relação ao assunto de continuidade do financiamento, também com potencial contribuição por meio da preparação de um plano de negócios.

A pesquisa focada na descrição do processo tem conclusão positiva quanto à prática de agrupar e codificar o questionário de acordo com as etapas do Guia Curricular de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2016), complementado por textos abordando metodologias e características específicas do processo, pois através do uso do mesmo para a coleta de informações de três diferentes fontes de dados, a completa descrição comparativa do processo de implantação pôde ser preparada. Porém, a conclusão para a descrição comparativa revela que o desenvolvimento da infraestrutura da Fábrica de Aprendizagem ainda não foi orientado pelas competências a serem formadas, conforme sugere a literatura. Contribui de forma significativa para isso o foco inicial de estabelecimento de infraestrutura mínima para utilização. Outra explicação é a ênfase de infraestrutura compartilhada multiusuário, que poderá ser empregada por vários cursos, unidades e docentes da USP conforme os seus direcionamentos didáticos específicos. De toda forma, há indicação na literatura de que o desenvolvimento didático pode ser aperfeiçoado com o tempo, como indicado na análise realizada no capítulo 5.

De forma sucinta, conclui-se que as etapas Objetivos Organizacionais e Público-Alvo ainda não foram realizadas de forma plena; adicionalmente, há evidências de não realização completa da 1ª Transformação Didática, levando à conclusão do não desenvolvimento da Fábrica de Aprendizagem, até o momento, orientada por competências, sendo essa uma recomendação para trabalhos futuros. Quanto às Infraestruturas Sociotécnica e didática, desenvolvimento parcial (por exemplo, produto

definido) com progressos foram registrados para a primeira, enquanto que desenvolvimento ainda por ser iniciado foi identificado para a segunda.

Evidências das etapas de Competências Pretendidas e Infraestrutura Didática posicionam esta dissertação de mestrado como limitada ao desenvolvimento do nível macro da Fábrica de Aprendizagem. Assim, os desdobramentos para o nível intermediário e micro, além de terem sido objeto de recomendações na Seção 5.2, são potenciais de novas futuras pesquisas descritivas.

Como futura pesquisa, é também sugerida a aplicação prática do modelo de maturidade para Fábricas de Aprendizagem de Enke, Glass e Metternich (2017), após identificação de evidências de validação prática do mesmo.

REFERÊNCIAS

ABELE, E.; CHRYSSOLOURIS, G.; SIHN, W.; METTERNICH, J.; ELMARAGHY, H.; SELIGER, G.; SIVARD, G.; ELMARAGHY, W.; HUMMEL, V.; TISCH, M.; SEIFERMANN, S. Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 66, n. 2, p. 803–826, 2017.

ABELE, E.; METTERNICH, J.; TISCH, M.; CHRYSSOLOURIS, G.; SIHN, W.; ELMARAGHY, H.; HUMMEL, V.; RANZ, F. Learning factories for research, education, and training. **Procedia CIRP**, v. 32, n. Clf, p. 1–6, 2015.

ADAMS, R. S.; TURNS, J.; ATMAN, C. J. Educating effective engineering designers: The role of reflective practice. **Design Studies**, v. 24, n. 3, p. 275–294, 2003.

ANNUNZIATA, M.; BILLER, S. The industrial internet and the future of work. **Mechanical Engineering**, p. 30–35, 2015.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

BAÏNA, S.; PANETTO, H.; MOREL, G. New paradigms for a product oriented modelling: Case study for traceability. **Computers in Industry**, v. 60, n. 3, p. 172–183, 2009.

BANIOS, E. W. Teaching Engineering Practices. **Frontiers in Education Conference**, IEEE. **Anais...**1992

BARROWS, H. S. A specific, problem-based, self-directed learning method designed to teach medical problem-solving skills, and enhance knowledge retention and recall. In: **Tutorials in problem-based Learning**. [s.l.: s.n.]. p. 16–32.

BLANCHET, M.; RINN, T.; VON THADEN, G.; DE THIEULLOY, G. Industry 4.0. **Informatik-Spektrum**, v. 37, n. 4, p. 284–285, 2014.

BLESSING, L.; CHAKRABARTI, A. **DRM, a Design Research Methodology Chapter 2**. Softcover ed. New York: 2009.

BONWELL, C. C.; EISON, J. A. Active Learning - Creating Excitement in the Classroom, **ASHE-ERIC Higer Education Report N° 1**. Washington DC: The George Washington University, School of Education and Human Development, 1991.

BOOTH, C. **Reflective Teaching, Effective Learning: Instructional Literacy for Library Educators**. Chicago: ALA Editions, 2011.

BORREGO, M.; FROYD, J. E.; HALL, T. S. Diffusion of engineering education innovations: a survey of awareness and adoption rates in U.S. engineering departments. **Journal of Engineering Education**, v. 99, n. 3, p. 185–207, 2010.

BRESNAHAN, T. F.; TRAJTENBERG, M. General purpose technologies “Engines of growth”? **Journal of Econometrics**, v. 65, n. 1, p. 83–108, 1995.

BUSSMANN, S.; SCHILD, K. Self-organizing manufacturing control: an industrial application of agent technology. **Proceedings Fourth International Conference on MultiAgent Systems**, 2000.

CARPENTER, R. Industrial Internet brings huge changes , benefits to industry. **Control Engineering**, p. 4–6, 2013.

CHANG, T.; WATTEYNE, T.; PISTER, K.; WANG, Q. Adaptive synchronization in multi-hop TSCH networks. **Computer Networks**, v. 76, p. 165–176, 2015.

CHICKERING, A. W.; GAMSON, Z. F. Seven principles for good practice in undergraduate education. **AAHE Bulletin**, v. Mar, p. 3–7, 1987.

COOKSLEY, M. The Rise of the Industrial Revolution. **Machine Design**, p. 1–7, 2014.

DE GRAAF, E. **Problem-based learning in Engineering Education**. SEFI Cahier N°

4: Project-organized Curricula in Engineering Education. **Anais...**1993

DE GRAAFF, E.; KOLMOS, A. Characteristics of problem-based learning. **International Journal of Engineering Education**, v. 19, n. 5, p. 657–662, 2003.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.

DUJOVNE, D.; WATTEYNE, T.; VILAJOSANA, X.; THUBERT, P. 6TISCH: DETERMINISTIC IP-ENABLED INDUSTRIAL INTERNET (OF THINGS). **IEEE Communications Magazine**, n. December, p. 36–41, 2014.

DURÃO, L.; GROTTI, M.; MACETA, P.; ZANCUL, E.; BERSANETTI, F.; CARVALHO, M. M. A Review of the Soft Side in Project Management: concept, trends, and challenges. **Revista Gepros**, v. 12, n. 2, p. 157, 2017.

DUTSON, A.; TODD, R.; MAGLEBY, S.; SORENSEN, C. A Review of Literature on Teaching Engineering Design Through Project-Oriented Capstone Courses. **Journal of Engineering Education**, v. 86, n. January, p. 17–28, 1997.

DYM, C. L. Learning Engineering : Design , Languages , and Experiences. **Journal of Engineering Education**, p. 145–148, 1999.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

ELMARAGHY, H.; MOUSSA, M.; ELMARAGHY, W.; ABBAS, M. Integrated Product / System Design and Planning for New Product Family in a Changeable Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 65–72, 2017.

ENKE, J.; GLASS, R.; METTERNICH, J. Introducing a Maturity Model for Learning Factories. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 1–8, 2017.

ENKE, J.; KRAFT, K.; METTERNICH, J. Competency-oriented design of learning

modules. **Procedia CIRP**, v. 32, n. Clf, p. 7–12, 2015.

ENKE, J.; TISCH, M.; METTERNICH, J. Learning Factory Requirements Analysis-Requirements of Learning Factory Stakeholders on Learning Factories. **Procedia CIRP**, v. 55, p. 224–229, 2016.

ETZKOWITZ, H. The Triple Helix of University-Industry-Government; Implications for Policy and Evolution. Working paper 2002-11; 2002.

EVANS, P. C.; ANNUNZIATA, M. Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. **General Electric**, p. 37, 2012.

EVENT, G.; ENGINE, C.; LAYER, T.; PASSWORD, S. Industrial Internet of Things. **Control Engineering**, v. 13, n. 6, 2015.

FALLER, C.; FELDMÜLLER, D. Industry 4.0 Learning Factory for regional SMEs. **Procedia CIRP**, v. 32, n. Clf, p. 88–91, 2015.

FORD, M. Industry 4.0: Who Benefits? **SMT: Surface Mount Technology**, v. 30, n. 7, p. 52–55, 2015.

FRÄMLING, K.; HARRISON, M.; BRUSEY, J.; PETROW, J. Requirements on unique identifiers for managing product lifecycle information: comparison of alternative approaches. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 20, n. 7, p. 715–726, 2007.

FRÄMLING, K.; HOLMSTRÖM, J.; LOUKKOLA, J.; NYMAN, J.; KAUSTELL, A. Sustainable PLM through Intelligent Products. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 26, n. 2, p. 789–799, fev. 2013.

GIFFI, C. A. Global Manufacturing Competitiveness Index. **Deloitte**, p. 40, 2013.

GIJSELAERS, W. H. Connecting problem-based practices with educational theory. **New directions for teaching and learning**, n. 68, p. 13–21, 1996.

GORBACH, G.; POLSONETTI, C. Realizing value from the Industrial Internet of Things. **InTech**, p. 1–5, 2015.

GORECKY, D.; KHAMIS, M.; MURA, K. Introduction and Establishment of Virtual Training in the Factory of the Future. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, n. September, 2015.

GRINTER, L. E. Report on the evaluation of engineering education. **Journal of Engineering Education**, v. 46, n. 1, p. 25–63, 1955.

HOSKE, M. T. Industry 4.0 and internet of things tools help streamline factory automation. **Control Engineering VO - 62**, n. 2, p. 7, 2015.

HUPFELD, A. **Factory Design of the Learning Factory “ Fábrica do Futuro ”**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2018. 45p.

ITU. **ITU Internet Reports, The Internet of Things**. 2005.

IVES, B.; VITALE, M. R. After the Sale: Leveraging Maintenance with Information Technology. **MIS Quarterly**, v. 12, n. 1, p. 7–21, 1988.

JAEGER, A.; MAYRHOFFER, W.; KUHLANG, P.; MATYAS, K.; SIHN, W. Total Immersion: Hands and Heads-On Training in a Learning Factory for Comprehensive Industrial Engineering Education. **International Journal of Engineering Education**, v. 29, n. 1, p. 23–32, 2013.

CACHAY, J.; WENNEMER, J.; ABELE, E.; TENBERG, R. Study on action-oriented learning with a Learning Factory approach. **International Conference on New Horizons in Education INTE2012**, v. 55, p. 1144–1153, 2012.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **German Research Center for Artificial Intelligence**, n. April, p. 82, 2013.

KÄRKKÄINEN, M.; HOLMSTRÖM, J.; FRÄMLING, K.; ARTTO, K. Intelligent products - A step towards a more effective project delivery chain. **Computers in Industry**, v. 50, n. 2, p. 141–151, 2003.

KIRITSIS, D. Ubiquitous product lifecycle management using product embedded informations devices. **IMIS' 04. Anais...**2004.

KIRITSIS, D. Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. **Computer-Aided Design**, v. 43, n. 5, p. 479–501, maio 2011.

KOLMOS, A. Reflections on project work and problem based learning. **European Journal of Engineering Education**, v. 21, n. 2, p. 141–148, 1996.

KREIMEIER, D.; MORLOCK, F.; PRINZ, C.; KRÜCKHANS, B.; BAKIR, D. C.; MEIER, H. Holistic learning factories - A concept to train lean management, resource efficiency as well as management and organization improvement skills. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 184–188, 2014.

KRUEGER, M. W.; DRATH, R.; KOZIOLEK, H.; OUERTANI, Z. M. A New Era. **ABB Review**, v. 4, p. 70–75, 2014.

LAMANCUSA, J.S., JORGENSEN, J.E., ZAYAS-CASTRO, J. L. Learning factory — A new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curriculum. **Journal of Engineering Education**, v. 86, n. April, p. 103–112, 1997.

LAMANCUSA, J. S.; ZAYAS, J. L.; SOYSTER, A. L.; MORELL, L.; JORGENSEN, J. 2006 Bernard M. Gordon Prize Lecture*: The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning. **Journal of Engineering Education**, v. 97, n. 1, p. 5–11, 2008.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LEE, J.; KAO, H.-A.; YANG, S. Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0

and Big Data Environment. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 3–8, 2014.

LMS LABORATORY FOR MANUFACTURING SYSTEMS & AUTOMATION. **Learning Factory Morphology Application**. Disponível em: <<http://syrios.mech.upatras.gr/LF/register>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

MAVRIKIOS, D.; SIPSAS, K.; SMPAROUNIS, K.; RENTZOS, L.; CHRYSSOLOURIS, G. A Web-based Application for Classifying Teaching and Learning Factories. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 222–228, 2017.

MCFARLANE, D.; GIANNIKAS, V.; WONG, A. C. Y.; HARRISON, M. Product intelligence in industrial control: Theory and practice. **Annual Reviews in Control**, v. 37, n. 1, p. 69–88, 2013.

MCFARLANE, D.; SARMA, S.; CHIRN, J. L.; WONG, C. .; ASHTON, K. Auto ID systems and intelligent manufacturing control. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 16, n. 4, p. 365–376, jun. 2003.

MEREDITH, J. Building operations management theory through case and field research. **Journal of Operations Management**, v. 16, n. 4, p. 441–454, 1998.

MEYER, G. G.; FRÄMLING, K.; HOLMSTRÖM, J. Intelligent Products: A survey. **Computers in Industry**, v. 60, n. 3, p. 137–148, abr. 2009.

MEYER, G. G.; WORTMANN, J. C.; SZIRBIK, N. B. Production monitoring and control with intelligent products. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 5, p. 1303–1317, 2011.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook**. 2nd ed. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994.

Ministério da Indústria , Comércio Exterior e Serviços. Diário Oficial da União, 2018. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/autenticidade.html>>

MISHRA, N.; LIN, C.; CHANG, H. A Cognitive Adopted Framework for IoT Big-Data Management and Knowledge Discovery Prospective. **Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2015, 2014.

MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 9–13, 2014.

MÜLLER-FROMMEYER, L. C.; AYMANS, S. C.; BARGMANN, C.; KAUFFELD, S.; HERRMANN, C. Introducing Competency Models as a Tool for Holistic Competency Development in Learning Factories: Challenges, Example and Future Application. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 307–314, 2017.

MURPHY, T.; GOMES, V. G.; ROMAGNOLI, J. A. Facilitating Process Control Teaching and Learning in a Virtual Laboratory Environment. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 10, n. 2, p. 79–87, 2002.

PALATTELLA, M. R.; ACCETTURA, N.; GRIECO, L. A.; BOGGIA, G.; DOHLER, M.; ENGEL, T. On Optimal Scheduling in Duty-Cycled Industrial IoT Applications Using IEEE802.15.4e TSCH. **IEEE Sensors Journal**, v. 13, n. 10, p. 3655–3666, 2013.

POSADA, J.; TORO, C.; BARANDIARAN, I.; OYARZUN, D.; STRICKER, D.; DE AMICIS, R.; PINTO, E. B.; EISERT, P.; DOLLNER, J.; VALLARINO, I. Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 35, n. 2, p. 26–40, 2015.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. **Journal of Engineering education- Washington**, v. 93, n. July, p. 223–232, 2004.

ROBERT, A., HOSKE, T. Prototyping peer-to-peer applications for the industrial Internet of things. **Control Engineering**, n. April, p. 1–8, 2014.

SALLEZ, Y.; BERGER, T.; DENEUX, D.; TRENTESAUX, D. The lifecycle of active and intelligent products: The augmentation concept. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 23, n. 10, p. 905–924, 2010.

SAVIN-BADEN, M. **Problem-Based Learning In Higher Education: Untold Stories**. [s.l.] McGraw-Hill Education, 2000.

SCHLECHTENDAHL, J.; KEINERT, M.; KRETSCHMER, F.; LECHLER, A.; VERL, A. Making existing production systems Industry 4.0-ready. **Production Engineering**, v. 9, n. 1, p. 143–148, 2014.

SCHÖN, D. A. **The reflective practitioner: How professionals think in action**. New York: Basic Books, 1983.

SCHUH, G.; GARTZEN, T.; RODENHAUSER, T.; MARKS, A. Promoting Work-based Learning through INDUSTRY 4.0. **Procedia CIRP**, v. 32, n. Clf, p. 82–87, 2015.

SCHUH, G.; POTENTE, T.; VARANDANI, R.; HAUSBERG, C.; FRÄNKEN, B. Collaboration Moves Productivity to the Next Level. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 3–8, 2014a.

SCHUH, G.; POTENTE, T.; VARANDANI, R.; SCHMITZ, T. Global Footprint Design based on genetic algorithms – An “Industry 4.0” perspective. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 63, n. 1, p. 433–436, 2014b.

SCHUH, G.; PROTE, J. P.; DANY, S.; CREMER, S.; MOLITOR, M. Classification of a Hybrid Production Infrastructure in a Learning Factory Morphology. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 17–24, 2017.

SHEN, W.; HAO, Q.; YOON, H. J.; NORRIE, D. H. Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 20, n. 4, p. 415–431, 2006.

SHEPPARD, S.; COLBY, A.; MACATANGAY, K.; SULLIVAN, W. What is Engineering

Practice ?*. **International Journal of Engineering Education**, v. 22, n. 3, p. 429–438, 2006.

SIMONS, S.; ABÉ, P.; NESER, S. Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 81–88, 2017.

SIRINTERLIKCI, A. Active learning in manufacturing engineering programs. **International Journal of Agile Manufacturing**, v. 11, n. 1, p. 27–38, 2009.

SSEMAKULA, M.; LIAO, G.; ELLIS, D. Closing the Competency Gap in Manufacturing Processes As It Applies To New Engineering Graduates. **Advances in Engineering Education**, p. 1–16, 2010.

STOREY, H. The industrial Internet of things. **Control Engineering**, n. July, p. 54–58, 2014.

TERZI, S. **A new point of view on Product Lifecycle Management**. 5th International Conference on Product Lifecycle Management, Seoul, Korea. **Anais...**2008.

TIAN, X.; ZHU, Y.; MEMBER, S.; CHI, K. Reliable and Energy-Efficient Data Forwarding in Industrial Wireless Sensor Networks. **IEEE Systems Journal**, p. 1–11, 2015.

TISCH, M.; HERTLE, C.; ABELE, E.; METTERNICH, J.; TENBERG, R. Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 12, p. 1355–1375, 2016.

TISCH, M.; HERTLE, C.; CACHAY, J.; ABELE, E.; METTERNICH, J.; TENBERG, R. A systematic approach on developing action-oriented, competency-based Learning Factories. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 580–585, 2013.

TISCH, M.; LAUDEMANN, H.; KRESS, A.; METTERNICH, J. Utility-based

Configuration of Learning Factories Using a Multidimensional, Multiple-choice Knapsack Problem. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 25–32, 2017.

TISCH, M.; RANZ, F.; ABELE, E.; METTERNICH, J.; VERA, H. Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain. **The Turkish Online Journal of Educational Technology**, v. Special Is, n. March 2016, p. 356–363, 2015.

VENTÄ, O. **Intelligent products and systems: Technology theme-final report**. 2007.

VEZA, I.; GJELDUM, N.; MLADINEO, M. Lean Learning Factory at FESB – University of Split. **Procedia CIRP**, v. 32, n. Clf, p. 132–137, 2015.

VINCENTI, W. G. **What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History**. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press, 1990.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 2002.

WAGNER, U.; ALGEDDAWY, T.; ELMARAGHY, H.; MULLER, E. Developing products for changeable learning factories. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 9, p. 146–158, 2014a.

WAGNER, U.; ALGEDDAWY, T.; ELMARAGHY, H.; MÜLLER, E. The state-of-the-art and prospects of learning factories. **Procedia CIRP**, v. 3, n. 1, p. 109–114, 2012.

WAGNER, U.; ALGEDDAWY, T.; ELMARAGHY, H.; MÜLLER, E. Product family design for changeable learning factories. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 195–200, 2014b.

WANG, Y.; ZENG, P.; YU, H.; ZHANG, Y.; WANG, X. Energy Tree Dynamics of Smart Grid Based on Industrial Internet of Things. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2013, p. 1–27, 2013.

WEEBER, M.; GEBBE, C.; LUTTER-GÜNTHER, M.; BÖHNER, J.; GLASSCHROEDER, J.; STEINHILPER, R.; REINHART, G. Extending the Scope of Future Learning Factories by Using Synergies Through an Interconnection of Sites and Process Chains. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 124–129, 2016.

YANG, X.; MOORE, P.; CHONG, S. K. Intelligent products: From lifecycle data acquisition to enabling product-related services. **Computers in Industry**, v. 60, n. 3, p. 184–194, 2009.

YIN, R. K. **Estudo de Caso - Planejamento e Métodos**. 5ª edição. Porto Alegre: 2014.

YU, R. Mesh network protocols for the industrial internet of things. **Microwave Journal**, 2014.

ZHAN, Z.; LIU, X.; GONG, Y.; ZHANG, J. U. N. Cloud Computing Resource Scheduling and a Survey of Its Evolutionary Approaches. v. 47, n. 4, 2015.

ZHEKUN, L.; GADH, R.; PRABHU, B. S. Applications of RFID Technology and Smart Parts in Manufacturing. **Volume 4: 24th Computers and Information in Engineering Conference**, v. 2004, p. 123–129, 2004.

ZIEMIAN, C. W.; SHARMA, M. M. Adapting learning factory concepts towards integrated manufacturing education. **International Journal of Engineering Education**, v. 24, n. 1, p. 199–210, 2008.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

*Questões originadas da morfologia de Fábricas de Aprendizagem de Tisch et al. (2015).

Q01AO-Operação*

Instituição Acadêmica

- ☐ Universidade
- ☐ Faculdade
- ☐ BA

Instituição não acadêmica

- ☐ Ensino médio vocacional
- ☐ Câmara
- ☐ Sindicato
- ☐ Associação de funcionários
- ☐ Rede industrial

Operação orientada ao lucro

- ☐ Consultoria
- ☐ Fábrica

Q02AO-Instrutores*

- ☐ Professor
- ☐ Pesquisador
- ☐ Estudante assistente
- ☐ Especialista técnico / internacional
- ☐ Consultor
- ☐ Educador

Q03AO-Desenvolvimento*

- ☐ Desenvolvimento próprio
- ☐ Desenvolvimento assistido
- ☐ Desenvolvimento externo

Q04AO-Financiamento inicial*

- ☐ Recursos internos
- ☐ Recursos públicos
- ☐ Recursos privados

Q05AO-Financiamento na operação*

- ☐ Recursos internos
- ☐ Recursos públicos
- ☐ Recursos privados

Q06AO-Continuidade do financiamento*

- ☐ Curto prazo (por exemplo, eventos singulares)
- ☐ Médio prazo (projetos e programas < 3 anos)
- ☐ Longo prazo (projetos e programas > 3 anos)

Q07AO- Aspectos financeiros / parcerias - Como foi a injeção de recursos no projeto da Fábrica do Futuro 4.0 USP? Contou com o financiamento de empresas desde o início? Foram buscadas após? Há planos?

Q08AO- Triple Helix - Parceria Fábrica de Ensino - Indústria – Governo

Como está a integração da Fábrica do Futuro 4.0 USP com a Indústria e com o Governo? No planejamento? Na implementação? Planos futuros?

Q09AO- Parcerias com diferentes Fábricas de Aprendizagem - Foi considerada aplicação de sistemática para identificar e usar possíveis sinergias entre diferentes Fábricas de Aprendizagem?

Q10AO-Modelo de negócios para treinamentos*

Modelo aberto

- ☐ Modelo de clube
- ☐ Taxas por curso

- ☐ Modelo fechado (programas de treinamento apenas para companhias únicas)

Q11AO-Parcerias interdepartamentais: A Fábrica de Aprendizagem é limitada ao PRO, ao abranger outras grandes áreas da Engenharia? Isto está bem definido? É tido por certo / consolidado?

Q12AO-Capacidade de utilização*

- ☐ < 10%
- ☐ 10 a 20%
- ☐ 21 a 50%
- ☐ 51 a 75%
- ☐ 76 a 100%

Q13AO-Tamanho da fábrica de aprendizagem*

- ☐ < 100m²
- ☐ 100 a 300m²
- ☐ 300 a 500m²
- ☐ 500 a 1000m²
- ☐ > 1000m²

Q14AO-Funcionários da Fábrica de Aprendizagem*

- ☐ < 1
- ☐ 2 a 4
- ☐ 5 a 9
- ☐ 10 a 15
- ☐ > 15

Q15AO-Classificação da Fábrica de Aprendizagem no sentido estrito ou amplo?

Q16OO- *Stakeholders* - Baseado na Morfologia, foram identificados os *stakeholders* da Fábrica de Aprendizagem?

Q17OO- Abordagem metodológica para identificar requisitos de diferentes *stakeholders* - Foi utilizada uma abordagem metodológica para análise dos requisitos dos vários *stakeholders* da Fábrica de Aprendizagem?

Q1800-Propósito principal*

- ☐ Educação
- ☐ Treinamento vocacional
- ☐ Pesquisa

Q1900-Propósito secundário*

- ☐ Ambiente teste / piloto
- ☐ Produção industrial
- ☐ Transferência de inovação
- ☐ Propaganda para produção

Q2000-Assunto tratado no conteúdo dos treinamentos*

- ☐ Gestão e organização da produção
- ☐ Eficiência de recursos
- ☐ Gestão *Lean*
- ☐ Automação
- ☐ CPPS – Sistemas de produção físico-cibernéticos
- ☐ Projeto de sistemas de trabalho
- ☐ HMI – Interface homem-máquina
- ☐ Projeto
- ☐ Projeto e gestão de logística interna
- ☐ Outros

Q2100-Papel da Fábrica de Aprendizagem para pesquisa*

- ☐ Objeto de pesquisa
- ☐ Instalações de pesquisa

Q2200-Tópicos de pesquisa*

- ☐ Gestão e organização da produção
- ☐ Eficiência de recursos
- ☐ Gestão *Lean*
- ☐ Automação
- ☐ CPPS – Sistemas de produção físico-cibernéticos
- ☐ Adaptabilidade

- ☐ *HMI* – Interface homem-máquina
- ☐ Didática
- ☐ Outros

Q2300Funções indiretas*

- ☐ *SCM* – Gestão da cadeia de fornecimentos
- ☐ Vendas
- ☐ Compras
- ☐ Recursos Humanos
- ☐ Finanças / Controladoria
- ☐ Gestão da Qualidade

Q24PA- Grupo alvo para educação e treinamento*

- ☐ Alunos
- Estudantes
- ☐ Graduação
- ☐ Mestrado
- ☐ Doutorado

Funcionários

- ☐ Aprendizes
- ☐ Qualificados
- ☐ Semi qualificados
- ☐ Não qualificados

Executivos

- ☐ Baixa gestão
- ☐ Média gestão
- ☐ Alta gestão

- ☐ Empreendedores
- ☐ Autônomos
- ☐ Inativos
- ☐ Aberto ao público

Q25PA-Constelação do grupo*

- ☐ Homogêneo
- ☐ Heterogêneo (nível de conhecimento, hierarquia, estudantes + empregados, etc.)

Q26PA- Indústrias alvo*

- ☐ Mecânica e de fábricas
- ☐ Automotiva
- ☐ Logística
- ☐ Transportes
- ☐ *FMCG* – Produtos de consumo rápido
- ☐ Aeroespacial
- ☐ Química
- ☐ Eletrônica
- ☐ Construção
- ☐ Seguros / Bancária
- ☐ Têxtil
- ☐ Outras

Q27PA-Indústrias alvo - Além das indústrias alvo que aparecem na Morfologia (Q26PA), foram consideradas outras no desenvolvimento da Fábrica de Aprendizagem?

Q28CP- Classes de competências* / Q31CP- 4 categorias de competências

- ☐ Competências técnicas e metodológicas
- ☐ Competências sociais e de comunicação
- ☐ Competências pessoais
- ☐ Competências orientadas para ação e implementação

Q29CP- Dimensões de aprendizado alvo*

- ☐ Cognitivas
- ☐ Afetivas
- ☐ Psicomotoras

Q30CP- 1ª Transformação didática para Competências Pretendidas - Como (análise sistemática) o conjunto de informações de AO, OO e PA foi considerado para chegar às competências pretendidas CP? Brainstorming? Workshop? Outro?

Q32CP- Deficiências reclamadas pela indústria - As deficiências reclamadas pela indústria foram consideradas na identificação das Competências Pretendidas? Foram consideradas antes? Foram incluídas no momento atual? Há planos de serem consideradas?

Q33CP- Tendências na manufatura atual - Mudanças e tendências na manufatura atual foram consideradas? Tecnologias emergentes foram consideradas?

Q34CP- *Soft Skills* - A identificação das Competências Pretendidas considerou a importância dos *Soft Skills*?

Q35CP- Saídas de aprendizado esperadas - Foram estabelecidas as saídas de aprendizado esperadas?

Q36CP- Desdobramento das competências para o *Meso level* - Foi utilizada metodologia para desenvolvimento de módulos de aprendizado a partir das Competências Pretendidas? (Desdobramento das competências).

Q37EF- Fronteiras do sistema Fábrica de Aprendizagem - Foram definidas as fronteiras do sistema Fábrica de Aprendizagem? (Ciclo de Vida da Fábrica / Ciclo de Vida do Produto).

Q38EF- Ciclo de vida do produto*

- ☐ Planejamento do produto
- ☐ Desenvolvimento do produto
- ☐ Projeto do produto
- ☐ Prototipagem rápida
- ☐ Manufatura
- ☐ Montagem
- ☐ Logística

- ☐ Pós Vendas
- ☐ Reciclagem

Q39EF- Ciclo de vida da fábrica*

- ☐ Planejamento de investimentos
- ☐ Conceito da fábrica
- ☐ Planejamento do processo
- ☐ Aceleração de produção
- ☐ Manufatura
- ☐ Montagem
- ☐ Logística
- ☐ Manutenção
- ☐ Reciclagem

Q40EF- Ciclo de vida dos pedidos*

- ☐ Configuração e pedido
- ☐ Sequenciamento do pedido
- ☐ Planejamento e agendamento da produção
- ☐ Manufatura
- ☐ Montagem
- ☐ Logística
- ☐ Coleta e embalagem
- ☐ Remessa

Q41EF- Ciclo de vida da tecnologia*

- ☐ Planejamento
- ☐ Desenvolvimento
- ☐ Teste virtual
- ☐ Manufatura
- ☐ Montagem
- ☐ Logística
- ☐ Manutenção
- ☐ Modernização

Q42EF- Fluxo de material*

- ☐ Produção contínua
- ☐ Produção discreta

Q43EF- Tipo de processo*

- ☐ Produção em massa
- ☐ Produção seriada
- ☐ Produção de pequenas séries
- ☐ Produção de itens unitários

Q44EF- Organização da manufatura*

- ☐ Manufatura em local fixo
- ☐ Manufatura em bancada
- ☐ Manufatura em oficina
- ☐ Fluxo de produção

Q45EF- Grau de automação*

- ☐ Manual
- ☐ Parcialmente automatizada / automação híbrida
- ☐ Totalmente automatizada

Q46EF- Métodos de manufatura*

- ☐ Corte
- ☐ Moldagem primária tradicional
- ☐ Manufatura aditiva
- ☐ Conformação
- ☐ Combinação
- ☐ Revestimento
- ☐ Mudanças das propriedades dos materiais

Q47EF- Fabricação de peças - O planejamento da Fábrica de Aprendizagem considerou a fabricação de peças?

Q48EF- Tecnologia de manufatura*

- ☐ Física

- ☐ Química
- ☐ Biológica

Q49EF- Ambiente de aprendizado*

- ☐ Puramente físico (planejamento + execução)
- ☐ Fábrica de aprendizagem física suportada por fábrica digital
- ☐ Fluxo de valor físico da Fábrica de Aprendizagem estendido virtualmente
- ☐ Puramente virtual (planejamento e execução)

Q50EF- Virtual + digital - Aspectos Virtual + digital foram considerados no planejamento da Fábrica do Futuro Poli? *Hybrid LF?*

Q51EF- Escala do ambiente*

- ☐ Em menor escala
- ☐ Tamanho natural

Q52EF- Níveis de sistema de trabalho*

- ☐ Estação de trabalho
- ☐ Sistema de trabalho
- ☐ Fábrica
- ☐ Rede

Q53EF- Facilitadores para a adaptabilidade*

- ☐ Mobilidade
- ☐ Modularidade
- ☐ Compatibilidade
- ☐ Escalabilidade
- ☐ Universalidade

Q54EF- Planejamento modular / *Changeable manufacturing systems* - Cada nível da Fábrica de Aprendizagem foi configurado de forma modular, de forma a permitir mudanças em curto espaço de tempo? Foram considerados *Changeable*

Manufacturing Systems? Foram planejados quando da implantação ou introduzidos após?

Q55EF- Dimensões de adaptabilidade*

- ☐ Layout e logística
- ☐ Características do produto
- ☐ Projeto do produto
- ☐ Tecnologia
- ☐ Quantidades do produto

Q56EF- Integração de Tecnologia da Informação*

- ☐ TI antes do início de produção (*CAD, CAM, simulação*)
- ☐ TI depois do início de produção (*PPS, ERP, MES*)
- ☐ TI depois da produção (*CRM, PLM, ...*)

Q57EF- Descrição da estrutura - Qual a descrição dos equipamentos e instalações? Houve um planejamento (Memorial descritivo)?

Q58EF- Abordagem estruturada para Elementos de Fábrica + Produto - Foi utilizada uma abordagem estruturada para configurar o sistema técnico da Fábrica de Aprendizagem?

Q59EF- Tendências da manufatura atual / Indústria 4.0 - Como o status QUO tecnológico da indústria foi considerado? Indústria 4.0: Como tendências na indústria foram consideradas?

Q60P- Método de desenvolvimento de produto - Foi utilizado um método estruturado para desenvolvimento de produto para a Fábrica de Aprendizagem? Fases 1 a 5?

Q61P- Método de desenvolvimento de produto - A definição / planejamento do produto considerou a estrutura sendo planejada para a Fábrica de Aprendizagem? Considerou os objetivos do sistema?

Q62P- Materialidade*

- ☐ Material (produto físico)
- ☐ Imaterial (serviço)

Q63P- Forma do Produto*

- ☐ Carga geral
- ☐ Carga a granel

Q64P- Origem do produto*

- ☐ Desenvolvimento próprio
- ☐ Desenvolvido pelos participantes
- ☐ Desenvolvimento externo

Q65P- Produto real x Produto Fábrica de Aprendizagem - O conceito de Produto Real x Produto LF foi considerado?

Q66P- Requisitos Produto Fábrica de Aprendizagem - Os requisitos para produtos a serem utilizados em uma Fábrica de Aprendizagem foram considerados?

Q67P- Comercialização do produto*

- ☐ Disponível no mercado
- ☐ Disponível no mercado, mas didaticamente simplificado
- ☐ Funcional, poderia estar disponível no mercado
- ☐ Sem função / aplicação, apenas para demonstração

Q68P- N° de produtos diferentes*

- ☐ 1 produto
- ☐ 2 produtos
- ☐ 3 a 4 produtos
- ☐ > 4 produtos
- ☐ Flexível, desenvolvido pelos participantes
- ☐ Aceitação de pedidos reais

Q69P- N° de produtos diferentes considerados no desenvolvimento - Foram consideradas mais de uma opção de produtos, quando do desenvolvimento? Como foi a decisão entre eles? Análise de custo benefício?

Q70P- N° de variações*

- ☐ 1 variação
- ☐ 2 a 4 variações
- ☐ 4 a 20 variações
- ☐ ...
- ☐ Flexível, dependendo dos participantes
- ☐ Determinado pelos pedidos reais

Q71P- N° de componentes*

- ☐ 1 componente
- ☐ 2 a 5 componentes
- ☐ 6 a 20 componentes
- ☐ 21 a 50 componentes
- ☐ 51 a 100 componentes
- ☐ > 100 componentes

Q72P- Uso posterior do produto*

- ☐ Reuso / reciclagem
- ☐ Exposição / demonstração
- ☐ Doação
- ☐ Venda
- ☐ Descarte

Q73P- Princípio de desmontagem - O desenvolvimento / definição do produto considerou *Design for Disassembly* / Princípio de desmontagem?

Q74ME- Estratégia de cenário de aprendizagem*

- ☐ Instrução
- ☐ Demonstração
- ☐ Cenário fechado

- ☐ Cenário aberto

Q75ME- Tipo de ambiente de aprendizagem*

- ☐ *Greenfield* (desenvolvimento de ambiente de aprendizagem)
- ☐ *Brownfield* (melhoria de ambiente de aprendizagem existente)

Q76ME- Canal de comunicação*

- ☐ Aprendizado no local (no ambiente da fábrica)
- ☐ Conexão remota (ao ambiente da fábrica)

Q77ME- Tipo de treinamento*

- ☐ Tutorial
- ☐ Curso prático de laboratório
- ☐ Seminário
- ☐ Oficina
- ☐ *Project work*

Q78ME- Padronização dos treinamentos*

- ☐ Treinamentos padronizados
- ☐ Treinamentos customizados

Q79ME- Fundamentação teórica*

- ☐ Pré-requisito
- ☐ Antecipadamente (em bloc)
- ☐ Alternando com etapas práticas
- ☐ Baseado na demanda
- ☐ Depois

Q80ME- N° de participantes por treinamento*

- ☐ 1 a 5 participantes
- ☐ 5 a 10 participantes
- ☐ 10 a 15 participantes
- ☐ 15 a 30 participantes
- ☐ > 30 participantes

Q81ME- N° de treinamentos padronizados*

- ☐ 1 treinamento
- ☐ 2 a 4 treinamentos
- ☐ 5 a 10 treinamentos
- ☐ > 10 treinamentos

Q82ME- Duração média de cada treinamento*

- ☐ < 1 dia
- ☐ 1 a 2 dias
- ☐ 3 a 5 dias
- ☐ 5 a 10 dias
- ☐ 10 a 20 dias
- ☐ > 20 dias

Q83ME- Participantes por ano*

- ☐ < 50 participantes
- ☐ 50 a 200 participantes
- ☐ 201 a 500 participantes
- ☐ 501 a 1000 participantes
- ☐ > 1000 participantes

Q84ME- Morfologia de Métodos de Ensino – Classificação pelos entrevistados da morfologia de métodos de ensino de Tisch et al. (2016).

Q85ME- *Problem pull / Theory push* - O desenvolvimento considerou as duas vertentes de métodos de ensino? Como?

Q86ME- Disponibilidade fora do horário-aula - A Fábrica de Aprendizagem foi planejada para ser usada ao longo do currículo, como uma biblioteca?

Q87ME- Realinhamento do currículo / Disciplinas - Foi planejado realinhamento do currículo? Disciplinas foram revistas? Foram criadas ou há planos para criar novas disciplinas?

Q88PAP- Grau de autonomia*

- ☐ Instruído
- ☐ Autoguiado / autorregulado
- ☐ Autodeterminado / auto organizado

Q89PAP- Papel do instrutor*

- ☐ Apresentador
- ☐ Moderador
- ☐ Treinador
- ☐ Instrutor

Q90PAP- Níveis de avaliação*

- ☐ Feedback dos participantes
- ☐ Aprendizado dos participantes
- ☐ Transferência para fábrica real
- ☐ Impacto econômico dos treinamentos
- ☐ Retorno dos treinamentos / Retorno sobre os investimentos

Q91PAP- Avaliação do sucesso dos treinamentos*

- ☐ Teste de conhecimento (escrito)
- ☐ Teste de conhecimento (oral)
- ☐ Relatório escrito
- ☐ Apresentação oral
- ☐ Exame prático
- ☐ Nenhum

Q92PAP- Aprendizado Formal, informal e não formal - Aspectos de processo de aprendizado formal, informal e não-formal foram abordados durante o desenvolvimento? Como irão se complementar?

Q93PAP- Inovações na formação de engenheiros - O planejamento do processo de aprendizado considerou Aprendizado Ativo, Aprendizado baseado em problemas?

[illegible]

[illegible]

[illegible]

APÊNDICE C – FOLHA DE COLETA DE DADOS – ENTREVISTAS

[illegible]

APÊNDICE D – FOLHA DE COLETA DE DADOS – OBSERVAÇÕES

[illegible]

APÊNDICE E – FOLHA DE SUMÁRIO DE DADOS – ENTREVISTAS

Folha de Sumário de Dados - Entrevistas Projeto de Pesquisa: Fábrica do Futuro Poli Aluno: Marcelo Vinicius Di Favari Grotti Orientador: Eduardo de Senzi Zancul	Contato: _____	Data Entrevista	Entrevista Nº	Quantidade de Folhas	Data
	Descrição: _____				

1 Quais as principais contribuições da entrevista para a pesquisa?

- ✓
- ✓
- ✓
- ✓
- ✓
- ✓
- ✓

2 Como as contribuições da entrevista se relacionam com as questões de pesquisa?

- ✓
- ✓
- ✓
- ✓
- ✓
- ✓

3 As contribuições reportadas satisfazem aos objetivos da entrevistas, ou novo contato com este entrevistado deverá ser feito? Por quê?

4 O resultado da entrevista direciona para alteração dos procedimentos de pesquisa quanto aos próximos contatos?

- ✓
- ✓
- ✓
- ✓
- ✓

APÊNDICE F – FOLHA DE SUMÁRIO DE DADOS – OBSERVAÇÕES

Folha de Sumário de Dados - Entrevistas Projeto de Pesquisa: Fábrica do Futuro Poli Aluno: Marcelo Vinicius Di Favari Grotti Orientador: Eduardo de Senzi Zancul	Evento: _____	Data Evento	Evento N°	Quantidade de Folhas	Data
	Descrição: _____				

Detalhes do evento (Tipo de evento, relação do evento com os entrevistados, etc).

✓

✓

✓

✓

✓

✓

Relevância ou importância do evento

✓

✓

✓

✓

✓

✓

Sumário do evento

✓

✓

✓

✓

✓

Análise do evento

✓

✓

✓

✓

✓

APÊNDICE G – FOLHA DE SUMÁRIO DE DADOS – DOCUMENTOS

Folha de Sumário de Dados - Documento Projeto de Pesquisa: Fábrica do Futuro Poli Aluno: Marcelo Vinicius Di Favari Grotti Orientador: Eduardo de Senzi Zancul	Título:	Data Coleta	Documento N°	Quantidade de Folhas	Data Sumário
	Descrição:				

Evento ou contato com o qual o documento é relacionado / Acesso ao documento

-
-
-
-
-
-

Relevância ou importância do documento

-
-
-
-
-
-

Sumário do documento

-
-
-
-
-
-

Análise do documento

-
-
-
-
-
-