

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO
NÍVEL DOUTORADO

TITO ARMANDO ROSSI FILHO

UM MÉTODO PARA O DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS PARA A
INDÚSTRIA 4.0 ATRAVÉS DE TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL

Porto Alegre

2021

TITO ARMANDO ROSSI FILHO

UM MÉTODO PARA O DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS PARA A
INDÚSTRIA 4.0 ATRAVÉS DE TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Informática na Educação do Centro Interdisciplinar
de Novas Tecnologias na Educação da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como requisito
parcial para a obtenção do grau de Doutor em
Informática na Educação.

Orientadora:

Prof.^a Dra. Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Coorientador:

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel

Linha de Pesquisa:

Ambientes Informatizados e Ensino a Distância

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Rossi Filho, Tito Armando
Um Método para o Desenvolvimento de Competências
para a Indústria 4.0 através de Tecnologias de
Realidade Virtual / Tito Armando Rossi Filho. -- 2021.
261 f.
Orientadora: Liane Margarida Rockenbach Tarouco.

Coorientador: Ricardo Augusto Cassel.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em
Novas Tecnologias na Educação, Programa de
Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Competências. 2. Indústria 4.0. 3. Realidade
Virtual. 4. Design Instrucional. 5. Tecnologias
Digitais Virtuais. I. Rockenbach Tarouco, Liane
Margarida, orient. II. Cassel, Ricardo Augusto,
coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora: Prof.^a Dra. Patrícia Helena Lucas Pranke

Vice Pró-reitor de Pós Graduação: Julio Otávio Jardim Barcellos

Pró-reitora de Ensino: Prof.^a Dra. Cíntia Inês Boll

Diretora do CINTED: Prof.^a Dra. Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Coordenador do PPGIE: Prof. Dr. Dante Augusto Barone



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**ATA SOBRE A DEFESA DE TESE DE DOUTORADO
TITO ARMANDO ROSSI FILHO**

Às nove horas do dia trinta de abril de dois mil e vinte e um, no endereço eletrônico <https://mconf.ufrgs.br/webconf/defesa-tito>, conforme a portaria 2291 de 17/03/2020 que suspende todas as atividades presenciais possíveis, nesta Universidade, reuniu-se a Comissão de Avaliação, composta pelos Professores Doutores: Leandro Krug Wives, Eliane Schlemmer, Remi Castioni para a análise da Defesa de Tese de Doutorado intitulada “**Um Método para o Desenvolvimento de Competências para Indústria 4.0 através de Tecnologias de Realidade Virtual**” do doutorando de Pós – Graduação em Informática na Educação Tito Armando Rossi Filho sob a orientação da Prof.^a Liane Margarida Rockenbach Tarouco e coorientação do Prof. Ricardo Augusto Cassel.

A Banca, reunida, após a apresentação e arguição, emite o parecer abaixo assinalado.

Considera a Tese Aprovada
() sem alterações;
(X) sem alterações, com voto de louvor;
() e recomenda que sejam efetuadas as reformulações e atendidas as sugestões contidas nos pareceres individuais dos membros da Banca;

Considera a Tese Reprovada.

Considerações adicionais (a critério da Banca):

A banca ressalta a pertinência, relevância e ineditismo da tese apresentada. Destaca ainda a complexidade e intensidade do trabalho desenvolvido e parabeniza o candidato pelo resultado. Solicita que sejam considerados os apontamentos e sugestões elencados nos pareceres individuais dos membros da banca, em especial a reorganização de estrutura da Tese. A banca sugere ampla publicação dos resultados da tese apresentada.

Prof.^a Dr.^a Liane Margarida Rockenbach Tarouco
Orientadora

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel
Coorientador

_____(videoconferência)_____
Prof. Dr. Leandro Krug Wives
PPGIE/ UFRGS

_____(videoconferência)_____
Prof.^a Dr.^a Eliane Schlemmer
UNISINOS

_____(videoconferência)_____
Prof. Dr. Remi Castioni
UNB

AGRADECIMENTOS

Entre tantas pessoas que de alguma forma contribuíram na minha trajetória até aqui, agradeço inicialmente ao meu núcleo familiar de origem. Ao meu pai, primeiro “doutor” da família, gostaria de agradecer pelos valores positivos e pelos bons exemplos que me guiam pela vida. Agradeço à minha mãe, entre tantas coisas, pela sua visão prática do mundo. Às minhas irmãs, agradeço por terem contribuído para que eu observe a realidade de ângulos diversos. Agradeço também aos antepassados de meus pais, que com muito trabalho e coragem permitiram que os seus legados fossem transmitidos.

Agradeço a minha esposa Andrea pela parceria, pela paciência e pela compreensão sobre a importância de investir no conhecimento. À minha filha Gabriella agradeço por me fornecer a inspiração e o incentivo para sempre seguir sempre na busca dos objetivos, apesar das dificuldades.

Aos colegas e professores do PPGIE tenho muito a agradecer, em especial minha orientadora Prof.^a Liane Tarouco. A sua visão crítica, guiada pelo seu conhecimento profundo, além dos seus direcionamentos precisos, foram fundamentais. Tive também o privilégio de contar com um coorientador do PPGE, o Prof. Ricardo Cassel, quem agradeço pelos sábios aconselhamentos e por suas várias contribuições.

Aos membros da banca examinadora, por terem acrescentado visões complementares que possibilitaram o refinamento deste trabalho.

Pelas suas valiosas contribuições para a avaliação do método proposto, agradeço aos profissionais da organização onde a tentativa de aplicação do método foi realizada, assim como aos especialistas externos que contribuíram na análise crítica do método proposto.

Finalmente agradeço a CAPES pelo apoio à realização desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

De todas as coisas que nos vêm por natureza, primeiro adquirimos a potência e mais tarde exteriorizamos os atos. Com as virtudes dá-se exatamente o oposto: adquirimo-las pelo exercício. Com efeito, as coisas que temos de aprender antes de poder fazê-las, aprendemo-las fazendo.

Aristóteles, em Ética a Nicômaco.

RESUMO

As organizações industriais de maneira geral demandam profissionais cada vez mais capacitados para lidar com a crescente complexidade dos processos e produtos, ao mesmo tempo em que o novo paradigma “Indústria 4.0” sugere a necessidade de competências específicas para atuação neste contexto. Para o desenvolvimento de tais competências, tem aumentado o interesse na adoção de tecnologias de realidade virtual, visto que elas vêm se tornando mais acessíveis e têm o potencial de proporcionar ambientes instigantes, interativos e que ajudam a viabilizar a busca pelo conhecimento e a reflexão crítica pelos alunos. Neste cenário percebeu-se a relevância de responder a seguinte questão de pesquisa: “como desenvolver as competências dos profissionais para atuação em organizações de manufatura no contexto da indústria 4.0, utilizando tecnologias de realidade virtual?”. Para responder esta questão de pesquisa a presente tese propõe um novo método baseado em *Design Instrucional*, o qual foi desenvolvido através do método de pesquisa *Design Science Research*. O método proposto é constituído de seis etapas: Preparação, Determinação de Competências a Desenvolver, Modelagem das Operações, Construção Instrucional, Aplicação Inicial e Implementação Completa. Foram desenvolvidas ferramentas de suporte que visam apoiar a adoção do método em uma organização industrial. O método proposto foi inicialmente avaliado por um painel de especialistas, o qual recomendou algumas melhorias que foram incorporadas na versão final do método. Ele também foi avaliado através de uma tentativa de implementação em uma organização até a etapa de Aplicação Inicial. Para a modelagem dos ambientes virtuais foi utilizada a plataforma *OpenSimulator*, onde *scripts* programados nas linguagens LSL e OSSL foram associados a objetos virtuais 3D. O resultado da avaliação do método foi considerado satisfatório, considerando os resultados observados. Finalmente o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa foram avaliados e considerados atendidos. Levando em consideração a proeminência e atualidade do tema, assim como o grau de ineditismo associado a esta tese, acredita-se que esta pesquisa tem o potencial de contribuir favoravelmente no suprimento das demandas educacionais crescentes das indústrias sob o contexto de transformação digital alavancada pela Indústria 4.0.

Palavras-Chave: Competências. Indústria 4.0. Realidade Virtual. Design Instrucional. Tecnologias Digitais Virtuais. Educação Corporativa.

A METHOD FOR THE DEVELOPMENT COMPETENCIES FOR OF INDUSTRY 4.0 THROUGH VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES

ABSTRACT

Manufacturing organizations are increasing in general the demand for qualified professionals to deal with the increasing complexity of processes and products, at the same time the new paradigm "Industry 4.0" suggests the need for specific skills to work in this context. For the development of such skills, the interest in virtual reality technologies adoption has increased, as they have become more accessible and have the potential to provide instigating and interactive environments that help to enable the search for knowledge and critical reflection by students. In this scenario, the relevance of answering the following research question was perceived: "how to develop the skills of personnel to work in manufacturing organizations in the context of industry 4.0, using virtual reality technologies?" To answer this research question this thesis proposes a new method based on Instructional Design, which was developed through the Design Science Research methodology. The proposed method is comprised of six stages: Preparation, Determination of Competencies to be Developed, Operations Modeling, Instructional Construction, Initial Application and Complete Implementation. Support Tools were developed to uphold the method adoption in industrial organizations. The proposed method was initially evaluated by an expert panel, who recommended some improvements that were incorporated into the final version of the method. It was also assessed through an attempt to implement it in an organization up to the Initial Application stage. For modeling virtual environments, the OpenSimulator platform was used, where scripts coded in LSL and OSSL languages were associated to virtual 3D objects. The result of the method evaluation was considered satisfactory, due to the observed results. Finally, the general and the specific research objectives were evaluated and considered fulfilled. Taking into consideration the prominence and timeliness of the theme, as well as the degree of novelty associated with this thesis, it is believed that this research has the potential to positively contribute to meeting the growing educational demands of industries in the context of the digital transformation leveraged by Industry 4.0.

Keywords: Competencies. Industry 4.0. Virtual Reality. Instructional Design. Virtual Digital Technologies. Corporative Education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Volume relativo do termo “Training Within Industry” na Internet.....	21
Figura 2 - Mapa conceitual de alguns elementos do objeto de pesquisa	23
Figura 3 - Termos utilizados em teses e dissertações ao longo dos anos.....	25
Figura 4 - Quantidade e Percentual de dissertações e teses por ano na área de estudo	26
Figura 5 - Estrutura da Tese	32
Figura 6 - Diagrama de Relevância e Contribuição da Pesquisa.....	34
Figura 7 - Modelo Iceberg de Competências	46
Figura 8 - Modelo de Competência Vocacional.....	47
Figura 9 - Espaço Multidimensional do Modelo COMBA de competências.....	48
Figura 10 - As Quatro Revoluções Industriais	57
Figura 11 - Ciclo de Aprendizagem Experiencial	65
Figura 12 - Componentes das Teorias de Design Instrucional.....	68
Figura 13 - Modelo ADDIE	71
Figura 14 - Modelo de Dick e Carey	72
Figura 15 - Exemplo de cartão de instrução de trabalho do TWI.....	76
Figura 16 - Ocorrência dos termos <i>Learning Factory</i> e similares.....	78
Figura 17 - <i>Learning Factory</i> da Universidade de Washington.....	79
Figura 18 - <i>Learning Factory</i> no sentido mais amplo e mais restrito.....	80
Figura 19 - Fábrica Virtual para Capacitação.....	80
Figura 20 - Publicações sobre Realidade Virtual	83
Figura 21 - Classificação de Recursos de RV	85
Figura 22 - Dispositivos de Saída de RV	89
Figura 23 - Exemplo de Mundo Virtual aplicado à Educação	91
Figura 24 - Arquitetura do Sistema de Capacitação	95
Figura 25 - Protótipo do Sistema de Capacitação em Realidade Virtual.....	96
Figura 26 - Foto do Laboratório Real e Seu Gêmeo Digital	100
Figura 27 - Combinação de Realidade Virtual com Gêmeo Digital.....	101
Figura 28 - Exemplo de Aplicação de Gêmeo Digital.....	102
Figura 29 - Pêndulo representativo da condução de pesquisas científicas.....	104
Figura 30 - Método de Pesquisa, Método de Trabalho e Método Proposto.....	110
Figura 31 - Interação do Estudante com um Experimento sobre Circuitos Resistivos.....	115
Figura 32 - Experimento voltado à Indústria Gráfica	117
Figura 33 - Método de Trabalho da Presente Pesquisa.....	120
Figura 34 - Equipe de Implementação do Método	124
Figura 35 - Fluxograma Geral para o Desenvolvimento de Aplicações em RV.....	132
Figura 36 - Estágios da Modelagem	138
Figura 37 - Estágio de Preparação da Visualização.....	139
Figura 38 - Estágio de Programação da Interação	139
Figura 39 - Estágio de Implementação da Interface	140
Figura 40 - Estágio de Validação da Modelagem.....	141
Figura 41 - Etapa de Análise Instrucional.....	143

Figura 42 - Modelo de Estratégia Instrucional	145
Figura 43 - Etapa de Projeto Instrucional.....	146
Figura 44 - Etapa de Desenvolvimento Instrucional	149
Figura 45 - Processo para Definição dos Níveis de Proficiência	150
Figura 46 - Avaliação dos Requisitos pelos Especialistas	155
Figura 47 - Avaliação das Etapas do Método pelos Especialistas.....	156
Figura 48 - Resultado do Questionário de Avaliação de Maturidade.....	160
Figura 49 - Arquitetura de <i>Software</i>	171
Figura 50 - Exemplo de Programação.....	172
Figura 51 - Modelagem da Montagem Eletromecânica.....	173
Figura 52 - Fábrica Real e Modelagem da FVA	174
Figura 53 - Modelagem da Estação de Prevenção de ESD.....	174
Figura 54 - Modelagem da Bancada de Trabalho e <i>Checklist</i> Virtual.....	175
Figura 55 - Modelagem do <i>Smart Shelf</i>	176
Figura 56 - Modelagem dos AGVs.....	176
Figura 57 - Exercício de Preparação dos Usuários	179
Figura 58 - Prática com o <i>Checklist</i> Virtual no Laboratório de FOD.....	181
Figura 59 - Prática “Encontre os FOs” no Laboratório de FOD	182
Figura 60 - Materiais Instrucionais do Laboratório de FOD.....	182
Figura 61 - Prática de Experimento com Balões no Laboratório de ESD	183
Figura 62 - Prática do Acumulador de Cargas no Laboratório de ESD.....	184
Figura 63 - Prática do Testador de Dispositivos ESD no Laboratório de ESD.....	185
Figura 64 - Prática do Ionizador e Exaustor de Ar no Laboratório de ESD	185
Figura 65 - Prática “Desafio Materiais ESD” no Laboratório de ESD.....	186
Figura 66 - Materiais Instrucionais do Laboratório de ESD	186
Figura 67 - <i>Smart Shelves</i> na FVA	187
Figura 68 - Deslocamento de Bandejas de Produto Pronto.....	188
Figura 69 - Finalização do último exercício na FVA	188
Figura 70 - Visão Panorâmica do Mundo Virtual Modelado	189
Figura 71 - Trecho do <i>Script</i> Botão AGV1	190
Figura 72 - Avatar do Aluno 3 na LFVA.....	197
Figura 73 - Avaliação das Experiências no LVDC FOD.....	201
Figura 74 - Avaliação das Experiências no LVDC ESD	202
Figura 75 - Avaliação das Experiências na FVA.....	203
Figura 76 - Contribuição para o Desenvolvimento das Competências	204

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aspectos Mais Relevantes dos Artigos sobre LF.....	27
Quadro 2 - Delimitação da Pesquisa.....	30
Quadro 3 - Comparação entre Educação e Treinamento	36
Quadro 4 - Matriz da Taxonomia de Bloom Revisada	44
Quadro 5 - Categorias de Complexidade do Processo Mental.....	50
Quadro 6 - Exemplo de Escala de Proficiências.....	51
Quadro 7 - Processo de Desenvolvimento de Competências	55
Quadro 8 - Competências requeridas pelos profissionais da Indústria 4.0	60
Quadro 9 - Modelos preferenciais de Design Instrucional e as variáveis de interesse	70
Quadro 10 - Relação entre o Modelo ADDIE e o modelo de Kemp, Morrison e Ross.....	71
Quadro 11 - Relação entre os Quatro Passos de Allen, o <i>Job Instruction</i> do TWI e o PDCA	75
Quadro 12 - Aspectos metodológicos e as possibilidades em LF	81
Quadro 13 - Competências Desenvolvidas em <i>Learning Factories</i>	81
Quadro 14 - Comparativo entre Motores de Jogos.....	87
Quadro 15 - <i>Hardware</i> por Classe de RV	88
Quadro 16 - Resumo das Pesquisas no Estado-da-Arte.....	92
Quadro 17 - Competências para Indústria 4.0.....	103
Quadro 18 - Síntese dos métodos de pesquisa e os objetos de pesquisa.....	108
Quadro 19 - Subetapas do Esclarecimento da Pesquisa.....	111
Quadro 20 - Subetapas da Definição da Pesquisa.	113
Quadro 21 - Subetapas da Proposição.....	114
Quadro 22 - Artefatos Propostos e Requisitos Alocados	119
Quadro 23 - Ações Recomendadas para Fechar Lacunas na Equipe.....	125
Quadro 24 - Matriz de Posições a Desenvolver	131
Quadro 25 - Níveis de Tecnologia por Característica.....	134
Quadro 26 - Matriz de Requisitos de Tecnologia	136
Quadro 27 - Exemplo de Matriz de Requisitos de Tecnologia	137
Quadro 28 - Matriz de Requisitos para Implementação.....	148
Quadro 29 - Perfil dos Especialistas que Avaliaram o Método.....	153
Quadro 30 - Resumo da Avaliação do Contexto (Primeira Parte).....	158
Quadro 31 - Resumo da Avaliação do Contexto (Segunda Parte).....	159
Quadro 32 - Membros da Equipe.....	160
Quadro 33 - Ocupações, Processos e Atividades.....	161
Quadro 34 - Cronograma Inicial de Implementação.....	162
Quadro 35 - Níveis HCG por Função	163
Quadro 36 - Seleção Inicial pelos Níveis de Importância	164
Quadro 37 - Competências para as Funções Seleccionadas	165
Quadro 38 - Proficiência Mínima para cada Competência e Atividade Seleccionada	166
Quadro 39 - Tecnologias da Indústria 4.0.....	167

Quadro 40 - Detalhamento das Atividades	168
Quadro 41 - Níveis de Tecnologia	169
Quadro 42 - Configuração de <i>Software e Hardware</i>	170
Quadro 43 - Níveis de Tecnologia	177
Quadro 44 - Usuários Selecionados	191
Quadro 45 - Desempenho no Exercício de Preparação	193
Quadro 46 - Variáveis Coletadas no LVDC FOD	194
Quadro 47 - Variáveis Coletadas no LVDC FOD	195
Quadro 48 - Variáveis Coletadas no LVDC FOD	196
Quadro 49 - Tabela com as Pontuações e Proficiências	198
Quadro 50 - Respostas quanto à Locomoção, Visualização e Interação	200

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
AVATAR	Ambiente Virtual de Aprendizagem e Trabalho Acadêmico Remoto
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBT	<i>Computer Based Training</i>
CP	Critério Preliminar
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
DI	<i>Design</i> Instrucional
DSR	<i>Design Science Research</i>
EC	Educação Corporativa
FEU	<i>Further Education Unity</i>
FS	Ferramenta de Suporte
FVA	Fábrica Virtual para Aprendizagem
HCG	Habilidade Cognitiva Geral
HMD	<i>Head-Mounted Device</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	<i>Internet of Things</i>
LF	<i>Learning Factory</i>
LMS	<i>Learning Management System</i>
LSL	<i>Linden Scripting Language</i>
LVDC	Laboratório Virtual para Domínio Cognitivo
ML	<i>Mastery Learning</i>
MV	Mundo Virtual
MVs	Mundos Virtuais
NEO	Núcleo de Engenharia Organizacional
NIME	Nível de Imersão
NINT	Nível de Interação
NREA	Nível de Realismo
OpenSim	<i>OpenSimulator</i>
OSSL	<i>OpenSimulator Scripting Language</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PBL	<i>Problem Based Learning</i>
PPGIE	Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação

RV	Realidade Virtual
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
STP	Sistema Toyota de Produção
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
TWI	<i>Training Within Industry</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE QUADROS	11
SUMÁRIO	15
1. INTRODUÇÃO	18
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O OBJETO DE PESQUISA	18
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA	23
1.2.1 Justificativa para a Academia	23
1.2.2 Justificativa para a Indústria	28
1.2.3 Justificativa para a Sociedade	28
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA	29
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA	29
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	29
1.6 INEDISTISMO E ORIGINALIDADE	30
1.7 ESTRUTURA DA TESE	32
2. REFERENCIAL TEÓRICO	34
2.1 EDUCAÇÃO, TREINAMENTO E COMPETÊNCIAS	35
2.1.1 Educação e Treinamento	35
2.1.2 Competências	36
2.1.3 Avaliação por Competências	40
2.1.4 Desenvolvimento de Competências	54
2.1.5 Competências na Indústria 4.0	56
2.2 TEORIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM	61
2.2.1 Comportamentalismo	62

2.2.2 Cognitivismo.....	62
2.2.3. Construtivismo	63
2.3 DESIGN INSTRUCIONAL.....	66
2.4 O PROGRAMA TWI.....	73
2.5 O PARADIGMA “LEARNING FACTORY”	78
2.6 TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL APLICADAS À EDUCAÇÃO	83
2.6.1 Tecnologias de <i>Software</i> para Realidade Virtual.....	85
2.6.2 Tecnologias de <i>Hardware</i> para Realidade Virtual.....	88
2.6.3 Mundos Virtuais	89
2.7 PESQUISAS RELACIONADAS	92
2.7.1 Realidade Virtual aplicada à Manutenção no Contexto da Indústria 4.0.....	93
2.7.2 Ambientes Virtuais de Aprendizagem para a Indústria 4.0.....	96
2.7.3 <i>Learning Factory</i> com Gêmeos Digitais	99
2.7.4 Identificação e Caracterização das Competências para Indústria 4.0	102
3. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	104
3.1 PARADIGMA DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR).....	106
3.2 JUSTIFICATIVA PARA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO.....	107
3.3 MODELO DE DSR.....	108
3.4 MÉTODO DE TRABALHO DA PESQUISA.....	109
3.4.1 Esclarecimento da Pesquisa	110
3.4.2 Definição da Pesquisa	113
3.4.3 Proposição	114
3.4.4 Geração de Artefatos.....	119
3.4.5 Conclusão da Pesquisa	119
4. MÉTODO PROPOSTO	121
4.1 PREPARAÇÃO (ETAPA 1)	121
4.2 DEFINIÇÃO DAS COMPETÊNCIAS (ETAPA 2)	127
4.3 MODELAGEM DAS OPERAÇÕES (ETAPA 3).....	131

4.4 CONSTRUÇÃO INSTRUCIONAL (ETAPA 4).....	142
4.5 APLICAÇÃO INICIAL (ETAPA 5).....	151
4.6 IMPLEMENTAÇÃO COMPLETA (ETAPA 6).....	152
5. AVALIAÇÃO DO MÉTODO.....	153
5.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO POR ESPECIALISTAS	153
5.2 TENTATIVA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO	157
5.3 AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA DOS ALUNOS	199
6. CONCLUSÕES.....	207
6.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	210
6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	212
6.3 TRABALHOS FUTUROS	213
REFERÊNCIAS.....	215
APÊNDICE A – Fluxograma do Método	229
APÊNDICE B – Ferramenta de Suporte 1 (FS1) – Apresentação Inicial	233
APÊNDICE C – Ferramenta de Suporte 2 (FS2) – Questionário de Avaliação	236
APÊNDICE D – Ferramenta de Suporte 3 (FS3).....	243
APÊNDICE E – Ferramenta de Suporte 4 (FS4)	248
APÊNDICE F – Ferramenta de Suporte 5 (FS5)	251
APÊNDICE G – Ferramenta de Suporte 6 (FS6)	253
APÊNDICE H – Lista de Objetos e <i>Scripts</i> da Tentativa de Aplicação.....	255
APÊNDICE I – Variáveis de Desempenho da Tentativa de Aplicação	258
APÊNDICE J – Instrumentos de Avaliação da Tentativa de Aplicação	259
APÊNDICE K – Matriz de Requisitos para Implementação.....	260

1. INTRODUÇÃO

A presente tese está relacionada a uma problemática que vem sendo observada nas organizações industriais de uma maneira geral: a necessidade de acelerar o desenvolvimento de competências para a busca de melhores desempenhos operacionais frente à crescente complexidade das operações. Neste capítulo são tecidas considerações iniciais sobre o objeto de pesquisa, descrevendo algumas das dificuldades enfrentadas pelas organizações em relação à capacitação de pessoal, como essas dificuldades têm sido minimizadas e quais as principais lacunas existentes em pesquisas acadêmicas e aplicações práticas. Além disso, são apresentadas a justificativa e relevância da pesquisa, seus objetivos, a sua delimitação e a forma como está estruturada nos demais capítulos.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O OBJETO DE PESQUISA

Em pouco mais de dois séculos desde a primeira Revolução Industrial, avanços tecnológicos significativos têm resultado em mudanças na organização econômica, social e política em todo o mundo (MAGALHÃES E VENDRAMINI, 2018). Saltos tecnológicos, segundo Sorooshian e Panigrahl (2020), levaram a uma mudança de paradigma chamada de “revolução industrial”. As novas tecnologias têm afetado não apenas o ambiente externo às indústrias que as produzem, mas as próprias operações de manufatura. Erol et al. (2016) enfatizam que as indústrias estão passando por transformações em direção a uma digitalização total e a aplicação da inteligência artificial nos processos de manufatura. Os mesmos autores indicaram que conceitos visionários, mas ao mesmo tempo hoje já realistas, como internet das coisas (IoT), internet industrial, manufatura baseada em nuvem e manufatura inteligente, são alguns dos precursores da chamada Quarta Revolução Industrial, mais conhecida como Indústria 4.0.

Um aspecto que tem relevância neste contexto é o aumento da complexidade das operações. Neste sentido, Brettel et al. (2014) apontam que a demanda crescente de produtos customizados, em combinação com a redução do ciclo de vida dos produtos, requer transformações adicionais das estruturas organizacionais para lidarem com a maior complexidade. No modelo proposto por Antani (2014), em relação às fontes de complexidade na indústria, os fatores humanos são desdobrados em Ergonomia, Treinamento e Experiência, Carga Cognitiva e Ambiente de Trabalho. O que o autor chama de Experiência pode ser associado às chamadas curvas de aprendizagem, as quais, conforme sugerem Anzanello e Fogliatto (2005), podem ser utilizadas para avaliar quantitativamente a adaptação dos

trabalhadores às operações de manufatura, o que possibilitaria identificar perfis distintos de aprendizado que poderiam ser administrados de acordo com os modelos de produtos.

Outros autores, como Knobreh, Ansari e Seidenberg (2020), apontam que, uma vez que as máquinas podem vir a tomar parte das tarefas de hoje, principalmente as relativas a tarefas manuais ou cognitivas, os trabalhadores passarão a realizar cada vez menos tais tarefas e passarão a executar principalmente as seguintes atividades:

- i) interagir com máquinas, incluindo dispositivos e máquinas inteligentes, sistemas de inteligência artificial, robôs colaborativos ou sistemas de assistência ao aprendizado;
- ii) colaborar com outros profissionais em diversos níveis de qualificação, incluindo operadores, pessoal administrativo, engenheiros e gerentes.

Conforme defende Makhatini (2016), há uma crescente demanda de funcionários que possuam um conjunto amplo de competências, cognitivas e comportamentais, em adição ao conhecimento específico de suas áreas. Essa tendência não está restrita a funcionários mais qualificados, como engenheiros. Segundo Kagermann (2014), os trabalhadores das fábricas cada vez menos serão meros operadores e passarão a ter mais o papel de especialistas, tomadores de decisão e coordenadores, na busca do equilíbrio entre eficiência e flexibilidade.

Percebe-se que neste cenário as competências que os empregadores demandam estão se modificando, ao mesmo tempo em que é reduzido o tempo de vida útil do conjunto de competências que os funcionários atuais adquirem (WEF, 2016). Harvard e Taylor (2018) defendem que hoje a velocidade de aprendizagem é uma demanda chave das organizações. Ao perceber que a escola regular, e até mesmo as universidades, não têm conseguido preparar o capital humano para essas necessidades do mercado de trabalho, muitas organizações têm passado a assumir a formação de seus trabalhadores, até porque, quanto mais eles se aprimoram, mais as organizações têm chances de sucesso no mercado globalizado (LUZ E FROM, 2016). Na prática, as lacunas de competências manifestam-se através do aumento da probabilidade de erros e de decisões equivocadas, que, por sua vez, resultam em potenciais defeitos nos produtos, além de maiores desperdícios.

Buscando fechar lacunas de aprendizagem, um novo paradigma emergiu há alguns anos no cenário organizacional: o da Educação Corporativa (EC). Segundo Reis, Silva e Eboli (2010), a EC tem tido cada vez mais destaque, tendo em vista sua conexão com tópicos como estratégia, aprendizagem, competitividade e, também, como resposta à crescente

complexidade com que as empresas têm se confrontado. A EC pode ser definida como um programa educacional voltado para o desenvolvimento de competências individuais e organizacionais, que tem como missão favorecer o alcance das metas organizacionais. Desse modo, a EC representa, antes de qualquer coisa, uma ferramenta estratégica organizacional (REIS, SILVA E EBOLI, 2010).

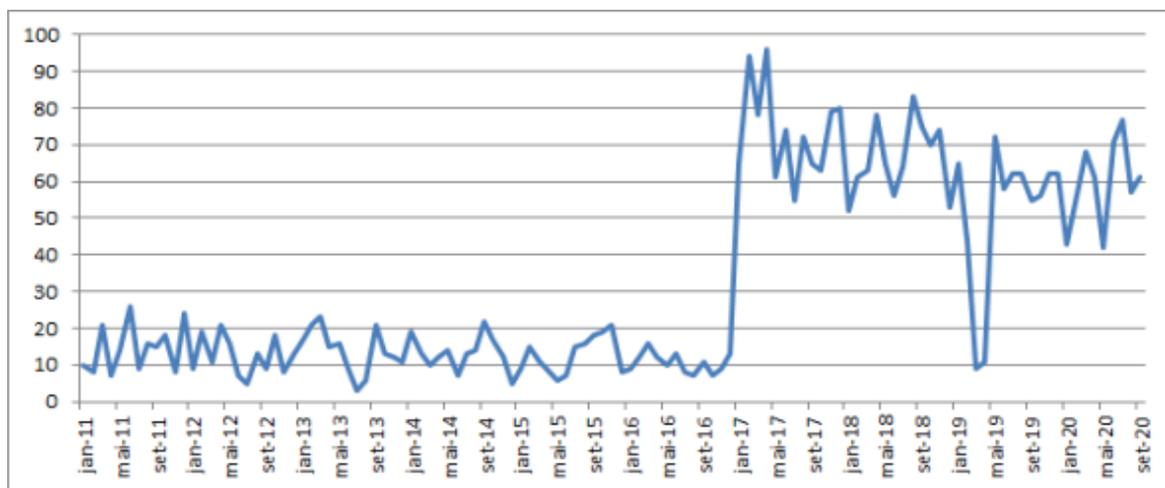
A ampliação do leque de competências entendidas como necessárias, e por consequência capturada pela EC, ajudou a trazer à tona a dicotomia existente entre o que se chamava de treinamento e o que se chamava de desenvolvimento, assim como entre treinamento e educação. Enquanto o treinamento seria um processo educacional de curto prazo (CHIAVENATO, 2009) e voltado a habilidades técnicas, detalhadas e rotineiras (PULCINELI, 2002), o desenvolvimento estaria voltado ao aperfeiçoamento e ao desenvolvimento das capacidades, atitudes e personalidades de maneira mais abrangente (PULCINELI, 2002). No entanto, tal dicotomia parece ter contribuído para uma menor ênfase ao desenvolvimento de métodos que considerem de forma abrangente o conjunto de competências necessárias para a execução de tarefas. Segundo Pulcineli (2002), tal dissociação entre treinamento e desenvolvimento teria sido fruto de práticas que desconheciam a cumplicidade entre ambos, os quais se complementavam para que os objetivos organizacionais fossem alcançados. Uma visão mais abrangente, conforme corroboram Pacheco et al. (2005), descreve o treinamento como parte do desenvolvimento de cada indivíduo.

Mesmo com o advento da EC, muitas organizações industriais vêm identificando deficiências em relação a métodos de capacitação de pessoas para a realização de tarefas. Conforme cita Bessen (2014), além de qualificações e competências formais, os empregadores frequentemente têm se preocupado com as habilidades ou competências práticas que os funcionários atuais e futuros têm condições de utilizar para realizarem as mais variadas tarefas requeridas no trabalho. Na busca por soluções para tais deficiências, algumas organizações têm buscado a adoção de métodos pragmáticos, como a proposta pelo antigo programa de treinamento TWI (do inglês, *Training Within Industry*), criado na década de 1940 durante a Segunda Guerra Mundial, portanto ainda um pouco antes do início da Terceira Revolução Industrial.

Džubáková e Koptak (2015), ao ressaltarem a renovação no interesse pela TWI, relataram que a busca pelo termo “Training Within Industry” na Internet teve um salto no ano de 2010. Ao consultar o site “Google Trends” a partir do ano seguinte, conforme pode ser

visto na Figura 1, observa-se que a partir de 2017 a busca por esse termo passou a ter um patamar ainda superior, indicando um potencial aumento no interesse pelo assunto. No entanto, percebe-se que a aplicação da TWI de uma forma geral tem ocorrido de maneira bastante similar a da época da sua criação, parecendo existir vários benefícios em revisitá-la explorando as demandas cognitivas atuais, assim como as potencialidades das tecnologias digitais que têm sido desenvolvidas nas últimas décadas, à luz da Indústria 4.0. Mais do que isso, o renascimento do TWI nos dias de hoje parece ensejar a necessidade de confrontação de seus princípios, desenvolvidos ainda na época do comportamentalismo de Skinner, com as teorias atuais de ensino e aprendizagem.

Figura 1 - Volume relativo do termo “Training Within Industry” na Internet



Fonte: Google Trends (2020)

Várias soluções visando fechar lacunas de capacitação envolvem a utilização de tecnologias digitais. Estas vêm se tornando mais acessíveis e, assim como são aplicadas nos processos de manufatura, também têm sido utilizadas como apoio às atividades de treinamento. Em linhas gerais, o treinamento por computador (CBT, do inglês “Computer-Based Training”) começou a ser aplicado nas últimas décadas, como uma ferramenta que possibilita cada pessoa ir avançando no conteúdo de acordo com o seu próprio ritmo (“self paced learning”). O principal benefício identificado inicialmente foi a possibilidade de que, uma vez desenvolvido, possa ser utilizado para o treinamento de um grande número de pessoas de maneira padronizada (SCHWANINGER, 2011). A utilização da informática para o desenvolvimento de competências remonta ao uso de computadores analógicos na década de

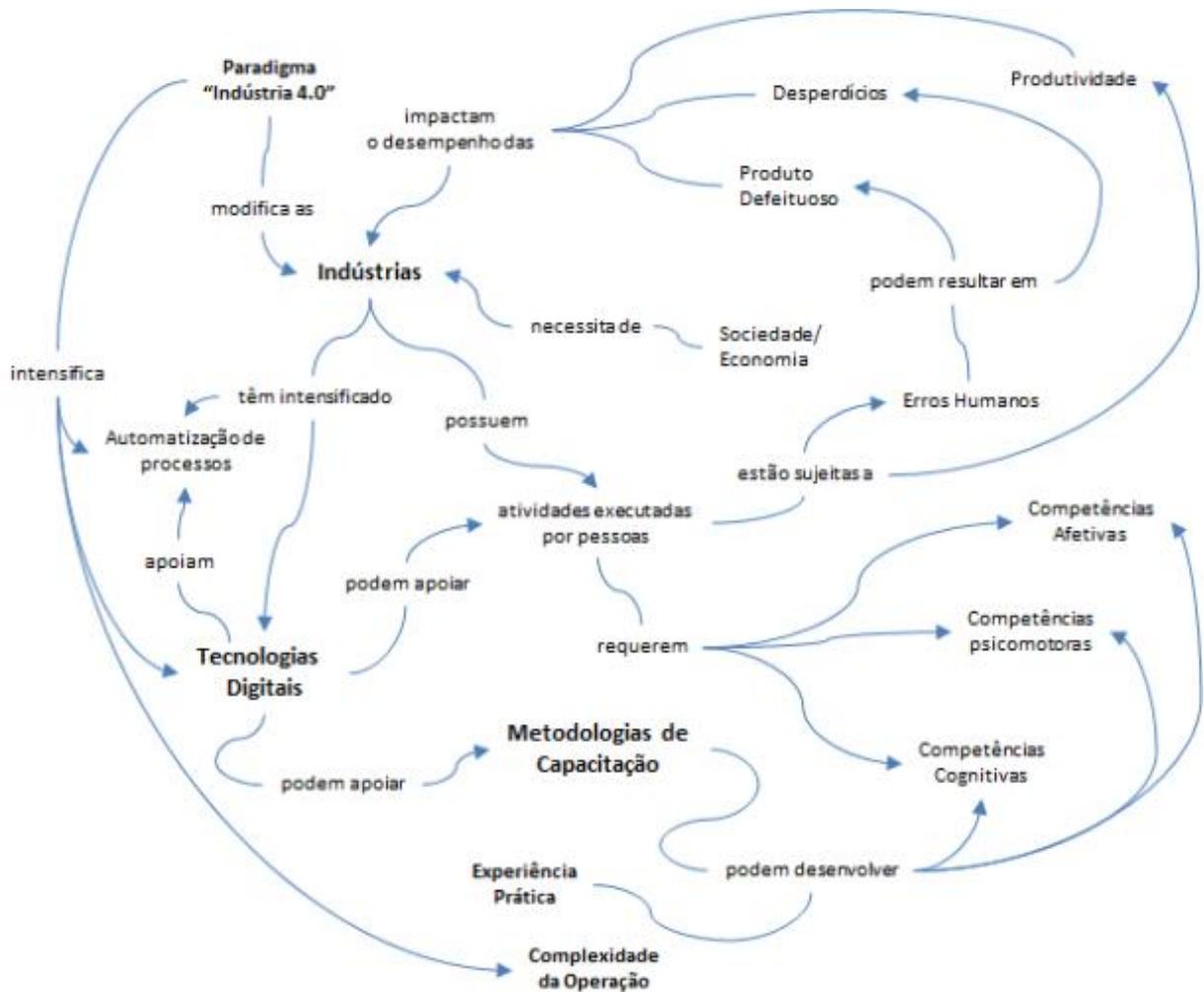
1950 (PAGE, 2000), embora isso fosse restrito ao treinamento de pilotos através de simuladores de voo.

Desde então, além das tecnologias terem se tornado muito mais acessíveis, uma série de avanços têm ocorrido nas tecnologias aplicadas à capacitação de pessoal, como a possibilidade de acesso via Internet (“Web-based learning”) e a utilização de sistemas de gestão do aprendizado, do inglês LMS (“Learning Management System”). Mais recentemente, tecnologias de realidade virtual, como a de mundos virtuais imersivos e de realidade aumentada, vêm sendo pesquisadas e observam-se algumas aplicações iniciais para várias finalidades de aprendizado. Neste sentido, conforme sugerem Cipresso et al. (2018), enquanto a realidade virtual se beneficia do fato de ter surgido há mais tempo e, portanto, existir campos de aplicação e pesquisa mais definidos, a realidade aumentada, que ainda está emergindo em cenários de pesquisa, parece ter o potencial de oferecer suporte e motivação ao aprendizado em níveis superiores. Outras tecnologias, como impressão 3D, simulação computacional e realidade misturada vêm tornando-se cada vez mais economicamente viáveis para aplicações em fábricas e no contexto educacional.

Em paralelo com o retorno pelo interesse pelo programa TWI, o paradigma “Learning Factory” (LF) tem sido considerado uma abordagem promissora para o desenvolvimento de competências (BAENA et al., 2017) e tem tido cada vez mais destaque em trabalhos de pesquisa e aplicações práticas voltadas ao ensino e aprendizagem nas indústrias. O conceito-chave da LF está relacionado à utilização de um ambiente muito próximo ao de uma fábrica real, visando o desenvolvimento de competências ou pesquisas buscando a inovação organizacional ou tecnológica (ABELE et al., 2015). Do ponto de vista de arquitetura pedagógica, em linhas gerais o que se propõe nas “learning factories” é a aprendizagem ativa e experiencial. Porém, embora as LF existentes façam uso de tecnologias atuais e até mesmo de arquiteturas pedagógicas modernas, parecem existir lacunas em relação à existência de métodos para sua adoção em ambientes educacionais, e, em especial, utilizando tecnologias de virtualização.

É neste contexto de crescente complexidade, das grandes potencialidades que a utilização de tecnologias de realidade virtual possui e de lacunas quanto a métodos e suas integrações com os processos educacionais em que reside esta pesquisa. Na Figura 2 é apresentado o mapa conceitual contendo os principais elementos do objeto de pesquisa.

Figura 2 - Mapa conceitual de alguns elementos do objeto de pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A seguir, a relevância da presente pesquisa será justificada a partir de três dimensões: acadêmica, para a indústria e para a sociedade.

1.2.1 Justificativa para a Academia

Para compreender e confirmar a relevância da pesquisa para a Academia foi realizado um estudo de mapeamento da literatura. O estudo de mapeamento, segundo Petersen et al. (2008), visa prover uma visão geral de uma determinada área de pesquisa, identificando a natureza, a quantidade de pesquisas e os resultados disponíveis. Neste caso, geralmente o pesquisador também visa conhecer as frequências de publicações ao longo do tempo para identificar tendências.

Uma referência quanto ao volume, à natureza e à origem das pesquisas acadêmicas pode ser obtida através da pesquisa em bibliotecas virtuais. A pesquisa realizada no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 2021) abrangeu os anos de 1987 (primeiro ano disponível) até o último ano disponível (2019), nas categorias de teses, dissertações e dissertações profissionalizantes. A primeira busca, a partir das palavras-chave “treinamento” e “empresa”, identificou 403.246 teses e dissertações no período. Ao observar as pesquisas selecionadas, percebeu-se que a maioria não estava relacionada ao escopo inicial de interesse. Por outro lado, apenas o termo “treinamento” restringiria muito a busca, visto que ao longo do tempo várias outras palavras passaram a ser usadas para designar a capacitação de funcionários em organizações industriais, tais como, desenvolvimento de competências, qualificação, educação corporativa, etc.

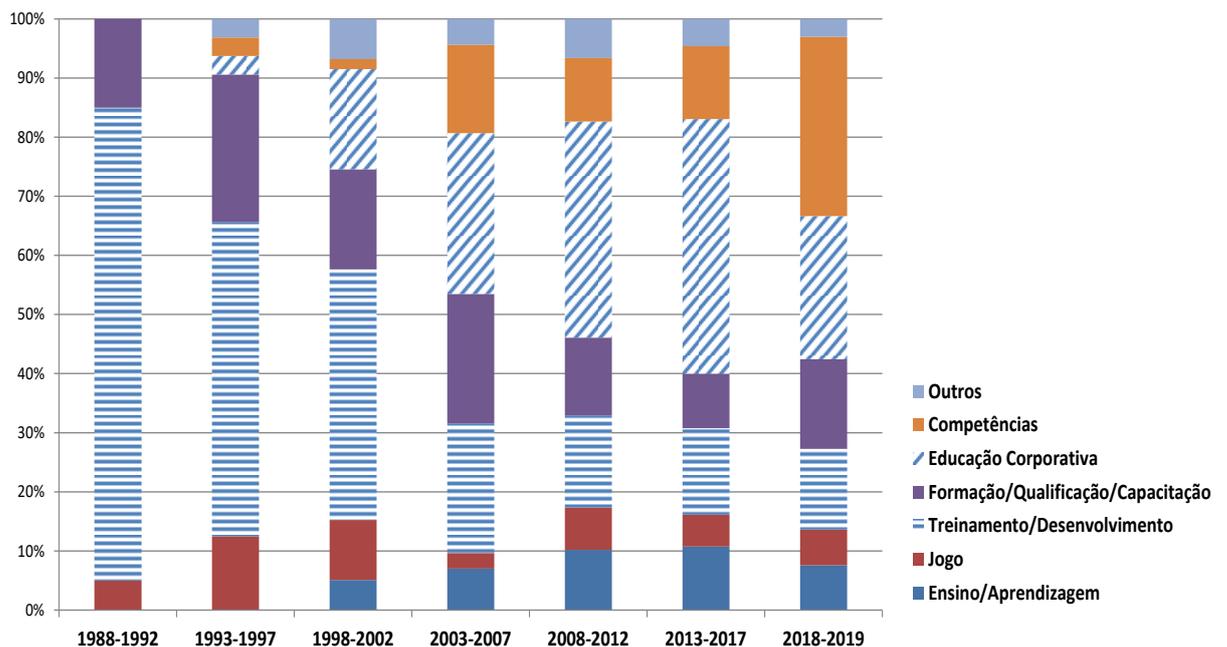
A busca foi estendida para outras palavras-chave: indústria, fabril, corporativa, capacitação, formação e pedagogia. O total de 589 teses e dissertações foi selecionado a partir da leitura de seus títulos. Em alguns casos foi necessária a leitura do resumo, visto que o título não deixava muito claro o escopo de aplicação da pesquisa. Foram desconsideradas as relacionadas à capacitação de funcionários em organizações de outros setores da economia, tais como o varejo, financeiro, construção civil, administração pública, etc. No entanto, foram mantidas as pesquisas que não foram direcionadas a nenhuma área específica, por exemplo, pesquisas que tratavam da educação corporativa de uma forma geral.

Percebe-se claramente uma mudança nos termos utilizados para descrever a capacitação de pessoas para as indústrias, refletindo a mudança que Meister (1999) chamava entre o antigo paradigma de treinamento e o paradigma de aprendizagem do século XXI. A Figura 3 ilustra a incidência dos termos utilizados em todas as teses e dissertações selecionadas do portal da CAPES, de acordo com os critérios anteriormente descritos.

Ao observar o gráfico da Figura 3, o que fica mais evidente é que, enquanto os termos “treinamento” ou “treinamento e desenvolvimento” tiveram a sua incidência reduzida ao longo do tempo, o contrário ocorreu com os termos associados à educação no âmbito das empresas (“educação profissional”, “educação corporativa” ou “universidade corporativa”). O termo “educação”, aplicado às indústrias, foi identificado a partir apenas de 1997, em uma dissertação de mestrado intitulada “A Nova Pedagogia Fabril – Tecendo a Educação do Trabalhador”. Já o termo “Universidade Corporativa” foi identificado apenas a partir de 2001, com a dissertação “As Universidades Corporativas e a Aprendizagem a Distância”. Esta

distinção fica ainda mais evidente ao selecionar os cursos mais relacionados à área de estudos da presente tese: selecionando apenas Educação, Psicologia e Informática na Educação, verifica-se que 30,0% de todos os trabalhos utilizaram os termos “treinamento” ou “treinamento e desenvolvimento” desde 1988, sendo que o último ano com alguma publicação foi há quase 10 anos, em 2009. Já em relação aos termos “educação” ou “educação corporativa”, foram identificadas publicações de 1997 a 2019.

Figura 3 - Termos utilizados em teses e dissertações ao longo dos anos

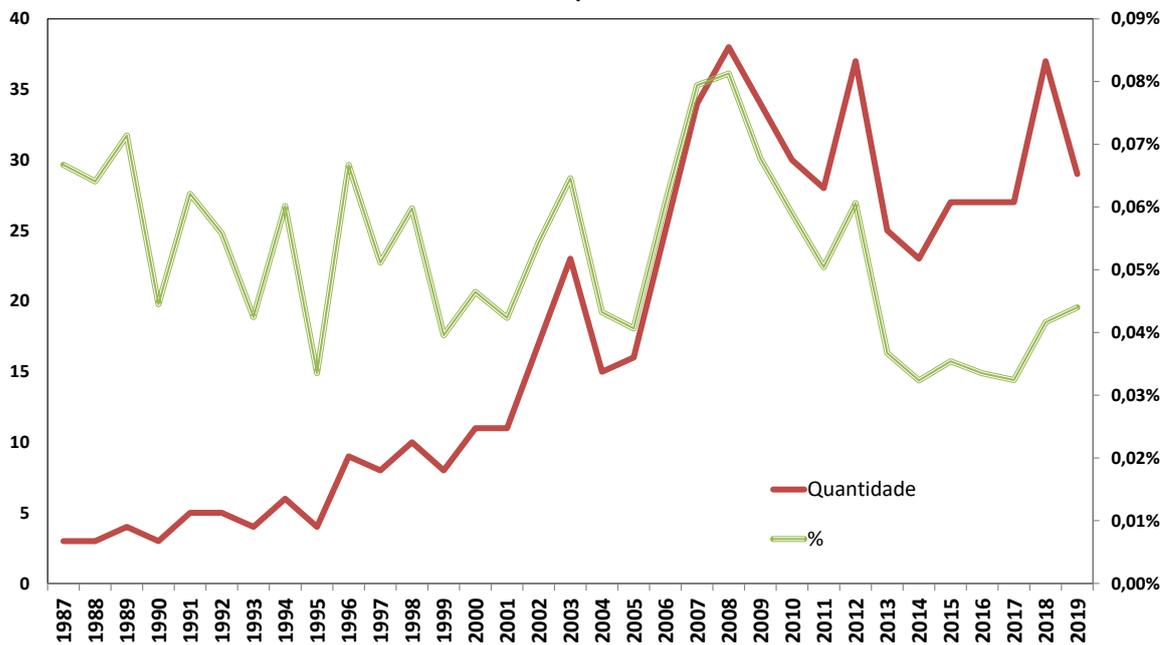


Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 4 é possível observar a evolução na quantidade e percentual ao longo dos anos. Embora a quantidade anual tenha aumentado, de menos de 10 teses e dissertações na primeira década (até 1997) para no mínimo 25 a partir de 2006, o percentual em relação ao total de teses e dissertações reduziu da faixa de 0,04% a 0,08% até 2009 para entre 0,03% e 0,04% a partir de 2013.

Em relação às Universidades de origem das pesquisas, o maior número de teses e dissertações são oriundas da USP, seguida pela UFSC, UFRJ, UNB, PUC-SP, UFRGS, UFF, UFPR, UFCE e UNICAMP. Estas dez Universidades juntas representam 44,3% de todas as publicações. Destas, 82,6% dos trabalhos são provenientes dos Cursos de Administração de Empresas (54), Engenharia da Produção (47), Educação (37), outras Engenharias (26), Psicologia (15) e Ciências da Computação (11).

Figura 4 - Quantidade e Percentual de dissertações e teses por ano na área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor

Tal pluralidade da origem dos cursos reflete o grau de interdisciplinaridade existente no tema, além de suas áreas de interesse em pesquisas no país. Por outro lado, chama a atenção a pouca incidência de trabalhos oriundos de cursos em que as teorias de aprendizagem e cognitivismo em linhas gerais são mais aprofundadas em seus currículos, tais como Educação e Psicologia. Destes cursos, foram identificadas, a partir das universidades com maior incidência indicadas anteriormente, 52 dissertações e teses (cerca de apenas 23%). Dentre estas, foi identificada apenas uma que tratou do tema TWI, sendo oriunda do curso de Doutorado em Educação da UFSC em 2012, com o título “Racionalidade para Racionalização: a Gestão da Produção e da Força de Trabalho enquanto Tecnologia Capitalista”.

Em relação a publicações internacionais e mais especificamente ao tema “Learning Factory” (LF), foi identificada uma revisão sistemática da literatura que utilizou três bancos de dados de publicações internacionais, SCOPUS, a *ISI Web of Science* e a *ScienceDirect*, além de outras revistas internacionais relacionadas à Educação em áreas correlatas. Baena et al. (2017) utilizaram os termos “learning factories” e “learning factory” nas buscas e, após excluir as publicações não relacionadas ao assunto, chegaram a 115 artigos. Buscando identificar os aspectos mais relevantes da LF, os autores fizeram uma análise qualitativa dos textos e agruparam os termos mais frequentes em sete agrupamentos, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Aspectos Mais Relevantes dos Artigos sobre LF

<i>Grupo</i> 1	Grupo focal	Graduados Não graduados Universidades Educação em Engenharia	<i>Grupo</i> 5	Tecnologias	ICT, RFID, IoT Software Manufatura Aditiva Sistemas Ciberfísicos
<i>Grupo</i> 2	Objetivo Educacional	Desenvolvimento de Conhecimentos Desenvolvimento de Experiência Desenvolvimento de Projetos Pesquisa	<i>Grupo</i> 6	Metas de Desempenho	Eficiência Tecnologias Sustentabilidade
<i>Grupo</i> 3	Estratégias de Aprendizagem	Baseado na prática Orientação à ação Aprendizagem ativa Aprendizagem experiencial	<i>Grupo</i> 7	Estratégias	Sistemas flexíveis Gestão <i>Lean</i> Indústria 4.0
<i>Grupo</i> 4	Áreas da Cadeia de Valor	Manufatura, Produção Projeto Gestão Logística			

Fonte: adaptado de Baena et al. (2017)

Conclui-se, a partir deste estudo de mapeamento da literatura, que os avanços tecnológicos que culminaram no advento da Indústria 4.0, assim como a mudança do paradigma do treinamento para o da aprendizagem no século XXI têm demandado soluções relacionadas à capacitação de pessoal, como o paradigma LF e a aparente retomada do TWI, no entanto parecem ainda existir várias lacunas a serem preenchidas através de pesquisas acadêmicas adicionais. No que tange as pesquisas acadêmicas realizadas no Brasil, foi verificada uma quantidade bastante limitada de dissertações e teses voltadas para o desenvolvimento de competências para as indústrias, e em especial que tenham sido oriundas de cursos voltados ao estudo e a formulação de métodos de ensino e aprendizagem.

Em relação ao uso de tecnologias de realidade virtual neste contexto, percebe-se um número crescente de aplicações comerciais e um grande apelo para sua aplicação. Se por um lado isso parece fazer muito sentido, por outro requer certa dose de cautela. Conforme destacam Plumanns et al. (2017), nem toda abordagem que é tecnicamente viável resulta numa melhoria nos resultados de aprendizagem, dessa forma, segundo mencionam os autores, é óbvio o perigo que existe em projetar ambientes de aprendizado virtuais de alto custo, sem um efeito positivo no aprendizado dos usuários.

1.2.2 Justificativa para a Indústria

A justificativa da relevância da pesquisa para a indústria está pautada em reconhecer a importância de um adequado programa de capacitação de pessoal para a obtenção de resultados sustentáveis na indústria. Neste sentido, Dearden, Reed e van Reenen (2006) apontam que o aumento de 1% na proporção de funcionários capacitados pode ser associado à cerca de 0,6% de aumento na produtividade da indústria. Os mesmos autores ressaltam que os métodos existentes na literatura subestimam a importância do treinamento.

Ao observar alguns dados recentes divulgados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), chama muito a atenção a forte tendência de queda da participação da indústria brasileira no Produto Interno Bruto (PIB). Atualmente o setor industrial de transformação corresponde apenas 11,8% do PIB (IBGE, 2018a), sendo o menor índice desde 1952. A chamada desindustrialização é até considerada positiva em países desenvolvidos, que optam pela terceirização em outros países. No entanto, não se trata da realidade do Brasil. A indústria brasileira encontra-se atrasada na adoção de tecnologias e métodos produtivos (BORINI, 2018). Nesse sentido, o desenvolvimento de um método de capacitação de pessoal que resulte na produção mais eficiente e com menores custos poderá contribuir com a indústria em geral.

1.2.3 Justificativa para a Sociedade

A justificativa da relevância da presente pesquisa para a sociedade baseia-se na premissa de que melhores métodos de capacitação contribuem para uma maior competitividade da indústria, através do aumento da produtividade e da redução de falhas dos produtos. O setor industrial representa 14,7% do PIB global (WORLD BANK, 2015), sendo considerada uma das mais importantes atividades para geração de riqueza. No Brasil estima-se que a indústria geral empregue 11,7 milhões de pessoas (IBGE, 2018b). Infelizmente, em função da crise econômica que tem se manifestado desde 2014 e a chamada desindustrialização do país, este número representa 1,5 milhões de pessoas a menos do que o pico atingido em 2014 (IBGE, 2018b).

A sociedade como um todo tende a perceber vários benefícios do aumento da competitividade e a melhoria da qualidade dos produtos, sendo uma forma direta de aumentar ou manter os empregos devido ao resultado financeiro positivo das empresas. Outro aspecto a considerar como benefício à sociedade está relacionado à Segurança do Trabalho. Vários pesquisadores, como Squelch (2001), Goulding et al. (2012) e Lanzotti et al. (2019) relatam

que ferramentas de realidade virtual têm sido aplicadas em várias indústrias para melhorar a eficácia em segurança e a conscientização em relação a perigos. Lanzotti et al. (2019), por exemplo, relataram experimentos realizados em uma indústria, os quais demonstraram que o uso de realidade virtual em atividades de capacitação aumentou o nível de atenção e conscientização dos operadores em relação à segurança.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão norteadora da presente pesquisa é: como desenvolver as competências dos profissionais para atuação em operações de manufatura no contexto da indústria 4.0, utilizando tecnologias de realidade virtual?

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral da pesquisa é construir um método para o desenvolvimento de competências dos profissionais para atuação em operações de manufatura no contexto da Indústria 4.0, utilizando tecnologias de realidade virtual.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- a) desenvolver uma ferramenta de suporte que permita identificar quais as principais competências necessárias no contexto de aplicação do método e a partir desta identificação avaliar o nível de competência de pessoas em relação a tais competências;
- b) desenvolver um ambiente virtual para ajudar a viabilizar a aplicação e avaliação do método proposto através de experimentos em uma aplicação real de capacitação de pessoal;
- c) avaliar a aplicabilidade do método proposto, contemplando a ponderação de vantagens e desvantagens em relação a outros métodos utilizados para o desenvolvimento de competências.

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A delimitação proposta buscou estabelecer um equilíbrio entre a profundidade da pesquisa e a relevância do seu resultado para a academia, indústria e sociedade de uma maneira geral, considerando as restrições de tempo e recursos para a execução da tese. A delimitação de pesquisa proposta encontra-se definida no Quadro 2.

Quadro 2 - Delimitação da Pesquisa

Propósito e Metas (Abele, 2015)	Propósito Principal	Educação	Treinamento Vocacional	Pesquisa	-
	Propósito Secundário	Ambiente de teste/piloto	Produção Industrial	Propaganda para produção	-
Processo (Abele, 2015)	Ciclo de Vida do Produto	P&D, Prototipagem Rápida	Fabricação, Montagem	Logística	Serviços, Reciclagem
	Ciclo de Vida da Fábrica	Conceito, Planejamento Inicial	Fabricação, Montagem	Manutenção	Reciclagem
	Ciclo de Vida do Pedido	Configuração e Pedido	Fabricação, Montagem	Embalagem	Embarque
Configuração (Abele, 2015)	Ambiente de Aprendizagem	Real	Virtual	-	-
Produto (Abele, 2015)	Tipo de Produto	Produtos Contínuos	Produtos Discretos	-	-
Didática (Abele, 2015)	Dimensões de aprendizado	Cognitivo	Psico-motor	Afetivo	-
	Estratégia de Aprendizado	Instrução	Demonstração	Cenário aberto	Cenário pré-determinado
	Tipo de ambiente de aprendizado	"Greenfield"	"Brownfield"	-	-
	Canal de Comunicação	Aprendizagem no local (ambiente fabril)	Conexão remota (ao ambiente de fábrica)	-	-
Clusters (Baena et al. 2017)	Público-alvo	Operacional	Técnico	Superior	Pós-graduação
	Objetivo Educacional	Conhecimentos	Experiência/Habilidade	Projetos	Pesquisa
	Estratégia de Aprendizagem	Baseado na prática	Orientado à ação	Aprendizagem Ativa	Aprendizagem Experiencial
	Área da Cadeia de Valor	Manufatura, Produção	Projeto	Gestão	Logística
	Tecnologias Digitais	Realidade Virtual	Realidade Aumentada	Realidade Misturada	-
	Metas de Desempenho	Eficiência	Tecnologias	Sustentabilidade	-
	Estratégia de Manufatura	Sistemas Flexíveis	Gestão	Lean	Indústria 4.0
TWI	Elementos do TWI	Instruções de Trabalho (JI)	Métodos de Trabalho (JM)	Relações de Trabalho (JR)	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Como ponto de partida para definição da delimitação foram utilizados dois trabalhos de pesquisa relacionados ao paradigma LF, os quais estabelecem de uma maneira geral todo o seu escopo potencial, além dos pilares do programa TWI e a identificação de tecnologias potenciais a serem aplicadas. Foi utilizado o Quadro 1, já apresentado anteriormente, da pesquisa de Baena et al. (2017), além de uma análise abrangente realizada por Abele et al. (2015).

1.6 INEDITISMO E ORIGINALIDADE

De acordo com Sander, Viacava e Takahashi (2013) para uma tese de doutorado é exigido o ineditismo em pelo menos um dos seguintes fatores: problema de pesquisa, método ou resultados. O ineditismo da presente tese se deve basicamente ao fato de não ter sido encontrada nenhuma publicação, nem no Brasil nem em outros países, onde seja proposto um método para o desenvolvimento de competências necessárias para a indústria 4.0 utilizando tecnologias de Realidade Virtual. Embora tenham sido encontradas publicações de pesquisas iniciais com objetivos subjacentes, como a proposta de um método para utilização de

Realidade Virtual em um contexto específico da indústria, nada foi encontrado considerando um escopo mais amplo das diferentes áreas de indústria e tecnologias, com o foco nas competências para Indústria 4.0.

O ineditismo está associado ao problema de pesquisa. Alturki et al. (2011) enfatizam que para considerar que um tema seja importante para a pesquisa é importante confirmar que de fato se trata de um problema ainda não solucionado em uma determinada classe de problemas e se a pesquisa trará alguma contribuição para o campo de conhecimento a que se refere. Ao avaliar pesquisas que apresentam certo grau de similaridade com a classe de problemas da presente tese, conclui-se que nenhuma delas reside exatamente na mesma da presente tese. Em relação à abordagem do método, a pesquisa de Schroeder et al. (2017) é a que possui mais semelhanças. A arquitetura de sistema proposta pelos autores parece ter o potencial de responder à questão de pesquisa referente à parte do método, ou seja, não se trata apenas de um artefato para viabilizar a implementação do ambiente em realidade virtual, mas intrinsecamente possui um *design* instrucional associado a ele. No entanto, não é apresentado nesse trabalho um artefato que permita responder a questão de pesquisa da presente tese. Não há, por exemplo, a proposição de um método, nem uma ferramenta de suporte para a identificação e priorização de quais competências a desenvolver.

Em relação ao objeto da pesquisa, foi identificado o trabalho de Kuts et al. (2018) que também trata da aplicação da realidade virtual para desenvolver competências para Indústria 4.0, embora estes autores não tratem da questão do método, apenas descrevem uma LF composta de um sistema de realidade misturada combinando as tecnologias de Realidade Virtual e Gêmeo Digital para fins de capacitação. As pesquisas de Schuster et al. (2015), Janssen et al. (2016) e mais recentemente de Eye e Freeman (2018) também tratam da utilização de realidade virtual para o desenvolvimento de competências na indústria, embora com menor ênfase em relação à Indústria 4.0. Por outro lado, Costa (2018) buscou identificar as competências técnicas e as transversais necessárias para profissionais de Engenharia e Gestão Industrial, no contexto da Indústria 4.0.

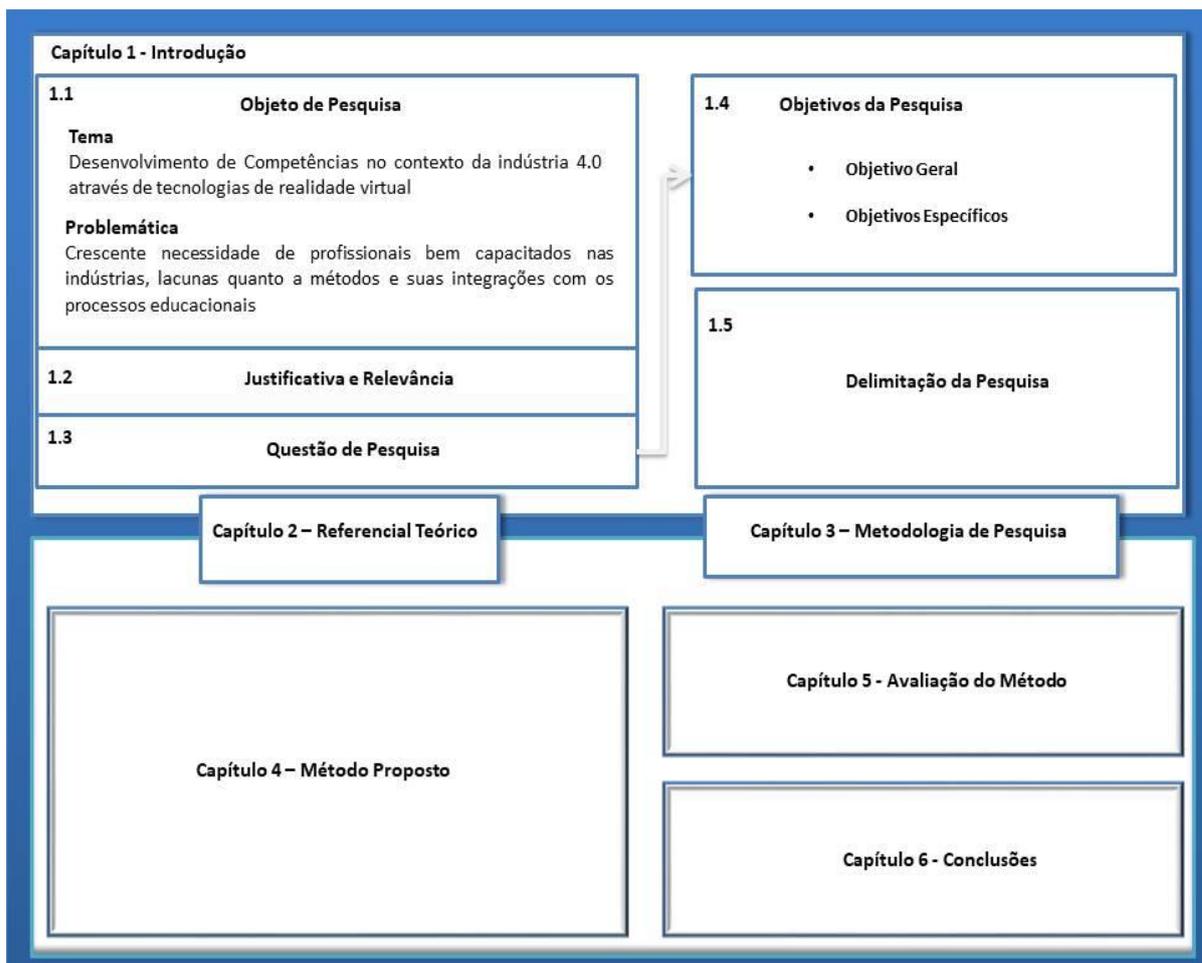
No que se tange aos aspectos de originalidade, a tese buscou incorporar o uso de tecnologias de Realidade Virtual e ferramentas de *Design* Instrucional no método a ser proposto, utilizando como método de pesquisa o *Design Science Research*.

1.7 ESTRUTURA DA TESE

O primeiro e presente capítulo desta tese menciona os objetivos e a questão da pesquisa, as justificativas para o seu desenvolvimento, a delimitação e a estruturação. O desenvolvimento da presente tese e a forma como a mesma será estruturada são representados na Figura 5.

No segundo capítulo, é desenvolvida uma síntese do referencial teórico, construída a partir da revisão bibliográfica e da experiência do pesquisador no tema. Além de relatar os tópicos conceituais básicos para o assunto, são apresentados alguns modelos e estudos mais recentes publicados na área, em artigos científicos e livros. Conforme descreve Luna (1997), o referencial teórico é importante para a determinação do chamado “estado da arte”, ou seja, buscou-se na literatura o que já foi desenvolvido sobre temas relacionados, incluindo as lacunas existentes e onde se encontram os principais entraves teóricos ou metodológicos.

Figura 5 - Estrutura da Tese



Fonte: Elaborada pelo autor

No terceiro capítulo é apresentada a definição do método que foi adotado para a execução da pesquisa, além da justificativa para tal escolha. O método buscou ser adequado aos objetivos estabelecidos no primeiro capítulo e refletir o referencial teórico construído no capítulo dois.

No quarto capítulo é detalhada a proposta do método para o desenvolvimento de competências, contemplando cada etapa e passos, assim as ferramentas de suporte necessárias para aplicar o método, as quais são detalhadas nos apêndices.

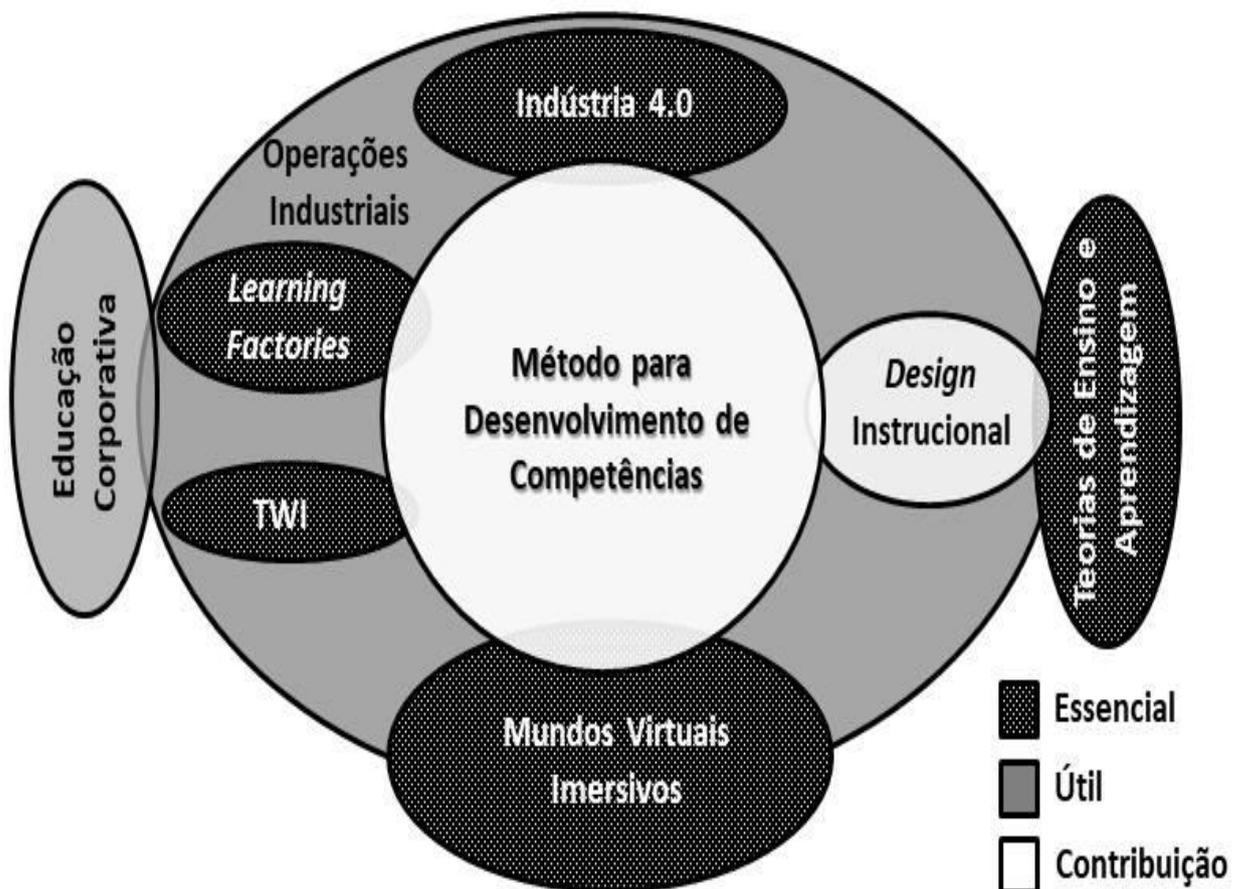
No capítulo cinco é descrita a avaliação do método, através da aplicação em uma organização. Finalmente no sexto capítulo são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a síntese do referencial teórico, a qual foi construída a partir do referencial bibliográfico sobre os assuntos relacionados ao tema da tese, assim como da experiência do pesquisador nesses assuntos.

O ponto de partida para a construção do referencial teórico foi a utilização do Diagrama de Relevância e Contribuição, proposto por Blessing e Chakrabarti (2009), que, segundo os autores, tem se mostrado bastante útil para esclarecer quais são os alicerces teóricos nos quais a pesquisa deverá se basear, tendo em vista a grande quantidade de áreas e disciplinas que podem estar relacionadas à questão de pesquisa. Este diagrama, conforme pode ser visualizado na Figura 6, permitiu ilustrar a diferenciação entre as chamadas áreas essenciais, que foram as mais relevantes para a pesquisa, e as áreas úteis, ou seja, as que não foram essenciais, mas que agregaram valor ao estudo.

Figura 6 - Diagrama de Relevância e Contribuição da Pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor

2.1 EDUCAÇÃO, TREINAMENTO E COMPETÊNCIAS

O referencial teórico foi construído tomando como base a terminologia utilizada para expressar os conceitos relacionados ao que nesta pesquisa está sendo chamado de desenvolvimento de competências. Hoje ainda se observa que não há uma uniformidade na definição dos termos e podem ocorrer variações de acordo com o país e área do conhecimento. Inicialmente serão tecidas considerações relevantes sobre a os conceitos e terminologia sobre desenvolvimento de competências e outros termos correlacionados, tais como, educação, treinamento, aprendizagem, educação vocacional, etc. Além da terminologia, serão apresentadas discussões existentes na Academia e na Indústria quanto ao tema e suas lacunas.

2.1.1 Educação e Treinamento

Harris et al. (1995) no livro “Competency-based Education and Training: Between a Rock and a Whirlpool” já afirmavam que sempre houve certa tensão entre os conceitos de educação e treinamento. Segundo eles, em linhas gerais, o termo educação vinha sendo mais associado à formação oriunda de escolas e universidades. Por outro lado, conforme afirmam os autores, o termo treinamento era relacionado ao desenvolvimento específico e limitado de habilidades (do inglês “skills”), vinculado a ocupações no mercado de trabalho e por essa razão, também associado muitas vezes aos termos “vocacional”, “técnico” e “profissional”. Harris et al. (1995) também ressaltaram que o treinamento vinha sendo mais associado a escolas vocacionais, treinamento “on-the-job” e em alguns países a programas vocacionais existentes em escolas de ensino médio.

Alguns anos mais tarde, Silva, Miranda e Hounsell (2007) indicaram ainda ser comum a confusão entre os conceitos de educação e treinamento, e que muitas vezes são utilizados ambos os termos para designar a mesma coisa. Os mesmos autores elucidaram a questão ao ressaltar que a educação e treinamento são aspectos diferentes do mesmo espectro, supondo que são conceitos complementares e não excludentes. Mais recentemente o pesquisador Fletcher (2018) corroborou com este conceito, propondo uma distinção entre educação e treinamento apresentada na Tabela 3. Como o autor sugere, as diferenças entre treinamento e educação não são nem rígidas nem absolutas.

Muitas vezes a tendência na generalização do uso do termo Educação, inclusive para atividades que originalmente chamava-se exclusivamente de treinamento e que melhor se enquadram no que está indicado no Quadro 3 como treinamento. Haja vista a vasta utilização

de termos como “educação corporativa” e “educação profissional” mesmo em atividades de capacitação para tarefas direcionadas ao trabalho.

Quadro 3 - Comparação entre Educação e Treinamento

Educação	Treinamento
Objetivos de vida	Objetivos de trabalho/tarefa
Objetivos negociáveis	Objetivos fixos
Eficiência em custos	Retorno sobre o investimento
Inclui treinamento	Inclui educação

Fonte: Fletcher (2018)

Uma das definições que parece estar atualizada é a de Fletcher (2018), ao acrescentar que as diferentes atividades de instrução encontram-se em um espaço contínuo, o que na presente tese está sendo chamado de desenvolvimento de competências. Esta definição foi adotada na presente tese.

2.1.2 Competências

Antes de avançar na revisão do referencial teórico sobre o desenvolvimento de competências, cabe uma revisão dos conceitos relativos à competência em si. De acordo com Isambert-Jamati (1997) e Dias (2010), a noção de competência remonta do Século XV, através da linguagem jurídica, quando eram designados tribunais “competentes” para um determinado tipo de julgamento. Dias (2010) acrescenta que no século XVIII o significado de competência teria sido ampliado para o nível do indivíduo, representando a capacidade relacionada ao saber e à experiência.

Segundo Campion et al. (2011) o termo competência só teria sido resgatado de forma mais abrangente na década de 1970, pela área da Psicologia. Um destaque dessa época foi o clássico artigo do pesquisador McClelland, em 1973, intitulado “Testando por Competência ao invés de Inteligência”, que colocava em xeque o papel dos tradicionais testes psicométricos de inteligência nos processos de recrutamento e seleção de pessoal (CAMPION et al., 2011). Neste trabalho, McClelland (1973) atrelava o conceito de competência às dimensões de conhecimento, habilidade e aptidão.

Na década seguinte, um dos colaboradores de McClelland, Richard Boylitz, contribuiu para a popularidade do termo competência (RUSSO, 2016). No livro “The Competent Manager”, Boylitz (1982) define competência como “uma característica intrínseca de um indivíduo, relacionada a um desempenho eficaz ou de alto nível na execução de uma ou mais tarefas definidas”. Dois anos depois, a organização britânica *Further Education Unity* (FEU) definiu competência como sendo a “posse e desenvolvimento de habilidades suficientes, atitudes apropriadas e experiência para o desenvolvimento dos papéis da vida com êxito” (FEU, 1984).

Outro pesquisador influente na área de competências, o francês Guy Le Boterf, definiu a competência como sendo um “saber-mobilizar”. Segundo Le Boterf (1994), a aquisição de conhecimentos ou capacidades não significa ser competente, por exemplo, pode-se conhecer o direito comercial e redigir mal os contratos.

Uma questão relevante ao discutir o significado do termo competência, reside em entender que o interesse pelo tema nasceu em diferentes escolas do pensamento. McLagan (1997) traz isso à tona ao classificar o significado de competência em três grandes grupos: a psicologia diferencial, a psicologia do comportamento e educacional, além das ciências da gestão. Algumas iniciativas têm buscado integrar as diferentes escolas do pensamento para prover uma base conceitual sólida e abrangente sobre competências. Uma das abordagens reconhecidas, segundo Rychen e Hersch (2003), foi a do projeto DeSeCo (em português, Definição e Seleção de Competências: Fundações Teóricas e Conceituais), na qual participam muitos países da OECD (em português, Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico).

O conceito definido pela DeSeCo enfatiza que competência é mais do que simplesmente conhecimento ou habilidades; ela envolve a capacidade em atender demandas complexas, recorrendo e mobilizando recursos psicossociais, incluindo habilidades e atitudes, em um contexto específico. Rychen e Hersch (2003) exemplificam que a competência de comunicação efetiva nos tempos atuais depende do conhecimento de um indivíduo sobre a linguagem, habilidades práticas de informática e atitudes positivas em relação à pessoa com quem ele ou ela estão se comunicando. Já Bartram (2005) define competências como sendo um conjunto de comportamentos que são instrumentais na entrega de resultados desejados.

De uma forma mais pragmática, Campion et al. (2011) referindo-se à definição utilizada para a gestão por competências nas organizações, descrevem o que eles chamam de

anatomia da competência, ou seja, os elementos necessários para definir cada competência. A descrição de cada competência, conforme proposto pelos autores e adotado na presente tese, prevê os seguintes itens:

- um título ou descrição breve;
- uma definição, geralmente descrevendo como a competência aparece na descrição de cargo em termos comportamentais detalhados;
- uma descrição detalhada dos níveis de proficiência da competência.

O conceito de competência continuou sendo utilizado e evoluindo nos últimos anos. De acordo com Weigel, Mulder e Collins (2007), ele partiu da esfera original da educação e treinamento e passou a influenciar o desenvolvimento de estratégias corporativas (competências-chave), gestão de recursos humanos (gestão por competências, conforme mencionado anteriormente) e inovação (competência setorial). Köppen et al. (2008) definiram competências como sendo disposições cognitivas, específicas em relação ao contexto, que são adquiridas e necessárias para lidar com determinadas situações ou tarefas em domínios específicos.

Outro conceito que parece relevante nesta discussão, em especial considerando a área de aplicação da presente pesquisa, é o da competência vocacional. O conceito de competência vocacional não pode ser dissociado ao de educação vocacional. Mas no que difere esta em relação à educação formal e qual o seu objetivo? Lucas, Spence e Claxton (2012) respondem estes questionamentos ao afirmarem que a educação vocacional busca desenvolver as chamadas competências instrumentais, que nada mais é do que a capacidade de fazer as coisas de forma hábil, seguindo um determinado padrão em uma área vocacional específica.

Na educação formal, ou tradicional, conforme enfatizam Lucas, Spence e Claxton (2012), o objetivo principal é conseguir “escrever e falar sobre determinadas coisas”. Descrevendo dessa maneira, os autores negligenciam algumas áreas do conhecimento, como a Matemática e a Física, as quais, mesmo na educação formal, exigem certa habilidade dos alunos para irem além de descreverem os fenômenos, mas também resolverem problemas, por exemplo. De qualquer forma, tal argumentação foi utilizada para enfatizar a diferença entre a educação vocacional, corporativa e a formal. Segundo os autores, na educação vocacional e a corporativa devem ser desenvolvidas as chamadas competências instrumentais, listadas a seguir:

- habilidade para a realização das tarefas específicas;

- inventividade, parar para pensar a fim de lidar com o que não é rotineiro;
- habilidades literárias funcionais de comunicação;
- habilidades funcionais de literatura, habilidades numéricas;
- capricho (sensibilidade vocacional; aspiração a fazer um bom trabalho; orgulho de fazer um trabalho bem-feito);
- atitudes profissionais (exemplo: tino comercial ou de empreendedorismo);
- habilidades mais amplas relacionadas ao desenvolvimento (para empregabilidade e aprendizado contínuo).

O conceito de competências vocacionais é muito similar ao de competências profissionais, fruto da educação corporativa. Enquanto as competências vocacionais são associadas a uma determinada área vocacional, por exemplo, ao trabalho de um técnico de automação industrial, as competências profissionais estão mais relacionadas às atividades de uma determinada função em uma organização, por exemplo, um técnico que dará suporte à operação de um conjunto de máquinas específicas. Laakso-Manninen e Viitala (2007) deixam mais clara essa diferença ao definir competência profissional como sendo a competência de um funcionário específico, considerando as habilidades e conhecimentos necessários para realizar determinadas tarefas em certo departamento de uma organização.

Visando definir de forma padronizada as competências vocacionais, algumas organizações realizaram amplos estudos envolvendo especialistas de diversas áreas. Nos EUA, o “Department of Labor” que seria o equivalente ao Ministério do Trabalho no Brasil, desenvolveu inicialmente a “Occupational Information Network”, que era uma extensa base de dados contendo uma espécie de dicionário de títulos ocupacionais de mais de 12 mil ocupações (Kaiser e Schnider, 2020). Tempos depois esse banco de dados acabou sendo simplificado para cerca de 1000 ocupações, no que veio a ser chamado de O*NET (BURRUS E WAY, 2017). A O*NET está disponível gratuitamente e contém a descrição de conhecimentos, habilidades, interesses e atividades relativas a cada ocupação no contexto dos EUA, inclusive ocupações industriais. De acordo com Kaiser e Schnider (2020), este banco de dados tem sido atualizado continuamente através de pesquisas com trabalhadores e analistas de recursos humanos.

Concluindo, percebe-se claramente uma evolução na forma de conceituar o que vem a ser competência ao longo do tempo. Galli (2012) sintetiza essa evolução mencionando que aquele entendimento simplista, que considerava as competências como um mero conjunto de conhecimentos técnicos para exercer uma atividade, passou a ter maior destaque, se ampliando para uma visão contemporânea, o que inclui aspectos cognitivos, técnicos, sociais

e afetivos, inter-relacionados entre si. Além disso, são percebidas algumas nuances que diferenciam a forma de conceituar competências, dependendo da área de aplicação. Na presente tese foi adotado o conceito mais contemporâneo de competências para atuação na indústria. No entanto, em função da delimitação de escopo previamente definida, restrito a aspectos cognitivos, técnicos e operacionais.

2.1.3 Avaliação por Competências

O conceito de avaliação por competências está muito ligado ao de avaliação educacional. Este último foi preconizado, entre outros autores, por Wood (1986). Segundo ele, a avaliação educacional deveria seguir os seguintes princípios:

1. lidar com os progressos de cada indivíduo, ao invés da relação com o desempenho em relação a outros indivíduos;
2. buscar avaliar a competência, ao invés da inteligência;
3. ocorrer em condições não controladas e assim não gera dados “bem comportados”;
4. preocupar-se com o melhor desempenho de cada indivíduo, ao invés de buscar o desempenho típico;
5. relaxar as regras e regulações, características típicas de um teste padronizado;
6. incorporar uma perspectiva construtiva em relação à avaliação, onde o objetivo é ajudar o aprendiz ao invés de “condená-lo”.

Segundo Gipps (1994), a avaliação educacional há vários anos tem passado por uma mudança de paradigma, migrando dos tradicionais testes psicométricos para um modelo mais amplo de avaliação educacional. O principal motivo alegado pelo autor é que os testes psicométricos possuiriam essencialmente uma limitação: a medição de atributos que são a propriedade de cada indivíduo, de forma singular. Ainda de acordo com Gipps (1994), a avaliação educacional busca olhar para o aprendiz como um indivíduo, ao invés da relação com outros indivíduos. Assim, de forma construtiva, identificar pontos fortes e fracos de cada aprendiz como indicadores do seu progresso educacional.

Algumas das questões até então mencionadas ilustram que a avaliação por competências é um tema controverso. Um dos motivos que explica a controvérsia foi mencionado anteriormente ao tratar da competência em si: o fato de existirem diferentes escolas de pensamento que abordam o tema (psicologia diferencial, psicologia do

comportamento e educacional, assim como ciências da gestão). Outro elemento desta controvérsia foi exposto por Westera (2001). O autor, partindo da premissa que a avaliação de competências é determinada através da observação do desempenho do aprendiz, afirma que um desempenho satisfatório pode ser facilmente obtido por acaso, escondendo uma eventual deficiência cognitiva.

Além de controverso, a avaliação por competências também é um tema complexo. De acordo com Marinho-Araújo e Rabelo (2015), tal característica reflete a complexidade dos envolvidos e suas relações, ou seja, quem avalia e quem é avaliado. Segundo os autores, no processo avaliativo “os contextos e intenções criam teias intersubjetivas, em um processo permanente de constituição e de diferenciação, no qual a subjetividade não se configura como um fenômeno exclusivamente individual, mas inter-relaciona-se aos sistemas de relações sociais e a cenários histórico-culturais constituídos e presentes nos contextos formativos” (pg. 444).

Considerando a dinâmica existente na avaliação de competências individuais, assim como a influência do contexto e de suas relações, Wittorski (1998) propôs que a avaliação de competências de uma forma geral ocorra a partir de duas dimensões fundamentais:

- procedimentos: utilizados para observar e mapear processos, etapas, estratégias, rotinas e relações estabelecidas em situações novas, aprendidas ou recorrentes;
- indicadores do contexto e da natureza da tarefa ou da situação: obtidos através da combinação entre a reflexão e a ação, as quais são oportunizadas através da interação entre a transmissão dos conhecimentos teóricos e a produção de competências em situações práticas orientadas ou assistidas.

Tendo em vista a complexidade do tema em vários aspectos, pesquisadores da área educacional há muitos anos têm desenvolvido modelos para apoiar o processo de avaliação, utilizando como base alguma taxonomia. Ferraz e Belhot (2010) enfatizam duas vantagens da utilização de alguma taxonomia no contexto educacional. A primeira das vantagens é o fato da taxonomia servir como um alicerce para o desenvolvimento de instrumentos de avaliação, de forma a viabilizar a utilização de estratégias diferenciadas para facilitar, avaliar e estimular o desempenho dos alunos em diferentes níveis de aquisição de competências. A segunda vantagem ressaltada pelos autores citados é o fato da taxonomia servir de estímulo aos educadores para que auxiliem os seus alunos de forma estruturada e consciente, para que estes

adquiram competências específicas, partindo do domínio das competências mais simples para as mais complexas.

Neste contexto, uma das taxonomias mais difundidas até hoje é conhecida como Taxonomia de Bloom, construída por Benjamim Bloom e outros colaboradores norte-americanos na década de 1950 e consolidada em 1956 no livro “Taxonomy of Educational Objectives”, ou em português “Taxonomia dos Objetivos Educacionais”. Bloom et al. (1956) tiveram como objetivo explícito auxiliar no planejamento, organização e controle dos objetivos de aprendizagem. Segundo defendem Oliveira, Pontes e Marques (2016), apesar de escrita há algumas décadas, a taxonomia de Bloom ainda pode servir de base para a construção dos instrumentos avaliativos na educação por competências.

A relação entre a Taxonomia de Bloom e a avaliação educacional fica evidente quando ainda no início da obra é citado: “[...] este livro inclui sugestões construtivas para a medição de cada classe de objetivos e oferece uma série de exemplos de diferentes tipos de itens, os quais têm sido usados por examinadores” (BLOOM et al., 1956, p.3). O livro também cita o fato dos autores terem identificado três grandes domínios em relação aos objetivos educacionais: o cognitivo, o afetivo e o psicomotor. Segundo os autores, o enfoque do livro foi dado apenas ao primeiro domínio, o cognitivo, o que eles definiram como sendo o conhecimento e o desenvolvimento de habilidades intelectuais. O que os autores citaram como afetivo, para eles se referiam aos objetivos educacionais relacionados a mudanças de interesse, atitudes e valores, o que segundo eles é uma tarefa muito difícil. Já o terceiro grande domínio está relacionado, segundo os autores, ao das habilidades motoras dos alunos.

A Taxonomia de Bloom então propôs seis classes principais para classificar o domínio cognitivo, sendo que cada uma delas relaciona-se com as demais de forma hierárquica (BLOOM et al., 1956). Na primeira categoria, o conhecimento, refere-se simplesmente aos alunos recordarem-se de informações em suas memórias. Foram definidas três subcategorias: o conhecimento de assuntos específicos, o conhecimento de formas e meios de lidar com assuntos específicos e o conhecimento de questões universais e suas abstrações.

Na segunda categoria, a compreensão, segundo Bloom et al. (1956), refere-se a um entendimento pelos alunos da mensagem literal contida em uma determinada comunicação. O aluno pode expressar o seu entendimento da forma que lhe é própria. As subcategorias, ou níveis definidos foram: translação, interpretação e extrapolação.

A terceira categoria da taxonomia é chamada de aplicação e envolve a utilização de informações, métodos e conteúdos vivenciados em novas situações concretas. Segundo Bloom et al. (1956), confirmando a relação hierárquica entre as categorias da taxonomia, para utilizar essa categoria é necessário antes chegar à compreensão (segunda categoria) dos métodos, teorias, princípios ou abstrações pertinentes.

Na próxima categoria, a análise, o que se avalia é a capacidade de organização e estruturação do conteúdo que foi estudado. Em outras palavras, significa saber dividir as informações em partes e entender as relações destas entre si ou mesmo agregar e juntar outras partes para criar algo novo. Segundo Bloom et al. (1956), a categoria de análise pode ter até três níveis. Num primeiro nível, espera-se que o aluno desdobre o material, a fim de identificar ou classificar os elementos da comunicação. No segundo nível, o aluno deve tornar explícitas as relações entre os elementos para determinar suas conexões e interações. Já no terceiro nível, é abrangida a reconhecimento dos princípios de organização, a configuração e a estrutura que unifica a comunicação total.

Na penúltima categoria, a síntese, busca-se a reunião dos elementos para formar um todo. O aluno necessita demonstrar a capacidade de combinar informações de várias fontes para resolução, construção ou elaboração de uma nova informação. Conforme citaram Bloom et al. (1956), esta é a categoria de domínio cognitivo em que é proporcionado ao aluno maiores oportunidades de desenvolver um comportamento de criação.

Por último, para a categoria de ordem mais superior da taxonomia, a avaliação, deve ocorrer o processo de julgamento acerca do valor de ideias, trabalhos, soluções, métodos, materiais, etc. realizados com um determinado propósito. Os julgamentos podem ser de caráter qualitativo ou quantitativo. Espera-se que o aluno já domine todas as categorias anteriores e seja capaz de fazer julgamentos elaborando propostas ou projetos para uma finalidade específica.

Mais de quarenta anos depois da publicação da Taxonomia de Bloom, um antigo aluno de Benjamin Bloom e seus colegas publicaram o que passou a ser chamado de Taxonomia de Bloom Revisada (ANDERSON et al., 2001). Segundo Krathwohl (2002), as modificações propostas em relação à taxonomia original foram as seguintes:

- adicionada uma dimensão para a classificação de objetivos, formando uma matriz bidimensional, sendo que a categoria “Conhecimento” passa a ser uma dimensão e as demais categorias formando a dimensão chamada de “Processo Cognitivo”;

- dividida a categoria “Conhecimento” em quatro subcategorias: conhecimento factual, conceitual, procedimental e metacognitivo, sendo que as primeiras três são muito similares em relação à taxonomia original, e a última foi acrescentada;
- colocação dos nomes das categorias da dimensão “Processo Cognitivo” no infinitivo (exemplo: do original “Aplicação” para “Aplicar”);
- substituição da categoria “Conhecimento” por “Lembrar”, na dimensão “Processo Cognitivo”;
- mudança na categoria “Síntese” por “Criação” e
- inversão no grau de complexidade, colocando a nova categoria “Criação” como a de maior ordem.

As justificativas apresentadas para as mudanças propostas são detalhadas por Krathwohl (2002). A principal modificação proposta foi a criação da dimensão adicional para a categoria “Conhecimento”. Segundo o autor, isso corrige o que na taxonomia original ele aponta como uma anomalia, visto que esta categoria, diferentemente das outras categorias, possui uma natureza intrinsecamente dual.

A Taxonomia de Bloom Revisada, por ter uma natureza bidimensional, pode ser representada de acordo com o Quadro 4. Cada célula desta matriz, formada através do cruzamento entre as duas dimensões, indica 24 combinações teoricamente possíveis de objetivos de aprendizado.

Quadro 4 - Matriz da Taxonomia de Bloom Revisada

Dimensão do Conhecimento	Dimensão do Processo Cognitivo					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Fatual	C _{F-L}	C _{F-E}	C _{F-Ap}	C _{F-An}	C _{F-Av}	C _{F-C}
Conceitual	C _{C-L}	C _{C-E}	C _{C-Ap}	C _{C-An}	C _{C-Av}	C _{C-C}
Procedural	C _{P-L}	C _{P-E}	C _{P-Ap}	C _{P-An}	C _{P-Av}	C _{P-C}
Metacognitivo	C _{M-L}	C _{M-E}	C _{M-Ap}	C _{M-An}	C _{M-Av}	C _{M-C}

Fonte: adaptado de Krathwohl (2002)

Segundo Feitosa (2009), o modelo de competências predominantemente adotado no Brasil tem sido o chamado modelo CHA, cujo nome é formado pela combinação de três dimensões de competências: o conhecimento (em inglês *knowledge*), a habilidade (em inglês *skill*) e a atitude (em inglês *attitude*). Leme (2005) sintetiza a definição destas dimensões ao explicar que o Conhecimento refere-se ao saber, a habilidade ao saber fazer e a atitude ao querer fazer. Detalhando um pouco mais, Gagné et al. (1988) define que o Conhecimento, refere-se às estruturas de informações ou proposições armazenadas na memória do aprendiz. A segunda dimensão de competência, a habilidade, de acordo com Carvalho e Freire (2009), vem a ser a destreza comportamental para fazer o que precisa ser feito de forma a obter um determinado resultado. Por último, a atitude está relacionada ao “querer fazer”, porém é muito mais do que isso. A atitude acrescenta a perspectiva da aplicação das outras duas dimensões, os conhecimentos e as habilidades, através de ações, comportamentos e posturas, os quais podem ser observados pelos demais sujeitos (BEHAR, 2013).

Ao buscar relacionar as três dimensões do modelo CHA com os três grandes domínios mencionados por Bloom et al. (1956), observa-se o equívoco de alguns interessados no tema ao fazer uma relação direta entre os conceitos. Por exemplo, nas páginas de internet *The Performance Juxtaposition Site* (2018) e em NBNA (2018) é relacionado diretamente o conhecimento como sendo o domínio que Bloom et al. (1956) chamaram de cognitivo, a atitude é relacionada diretamente ao domínio afetivo e o das habilidades relacionado ao domínio psicomotor. Observa-se que a relação entre o domínio afetivo e a dimensão “Atitude” é a única que se pode estabelecer de forma mais direta, embora com algumas restrições, visto que o objetivo de ambas as classificações não é o mesmo.

Em relação à avaliação de competências no contexto organizacional, Rankin (1999) ressalta que a informação do nível atual de competências e as possíveis necessidades futuras de competências são vitais para o processo de desenvolvimento planejado. Segundo Karhumäkl (2015), a meta de todas as avaliações de competência é identificar as potenciais lacunas de competências na organização. As lacunas de competências (do inglês, “competence gaps”), são as diferenças entre o nível desejado e o atual de competência do indivíduo.

Sanghi (2007), ao introduzir o assunto competências nas organizações no livro “The Handbook of Competency Mapping”, apresentou o chamado modelo de Iceberg das competências, conforme pode ser visto na Figura 7. Os chamados conhecimentos da superfície, segundo o autor, seriam os mais fáceis de avaliar e desenvolver, sendo o

treinamento a forma mais efetiva de desenvolver as habilidades dos funcionários. Já as competências relacionadas à motivação, assim como os dons ou traços individuais, estariam na base do iceberg do indivíduo e assim seriam as mais difíceis de avaliar e de desenvolver.

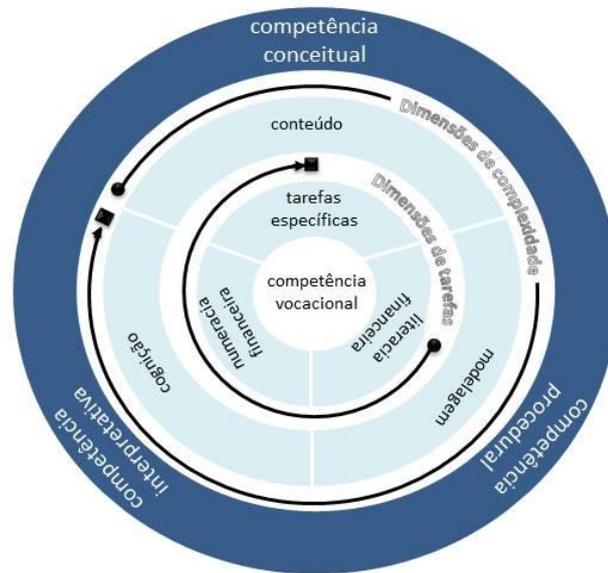
Figura 7 - Modelo Iceberg de Competências



Fonte: adaptada de Sanghi (2007)

Winther e Achtenhagen (2009) defendem que uma das principais características que diferem as competências vocacionais das do âmbito escolar/acadêmico é que a avaliação de competências no campo vocacional é sempre relacionada a ações e atividades. Esta característica também se aplica naturalmente às competências profissionais, buscadas pelos programas de Educação Corporativa. Os autores propuseram um modelo para avaliação de competências vocacionais. Conforme ilustrado na Figura 8, no modelo proposto há três diferentes níveis de competências e suas inter-relações: a competência conceitual, a competência procedural e a competência interpretativa.

Figura 8 - Modelo de Competência Vocacional



Fonte: adaptada de Winther e Achtenhagen (2009)

No modelo proposto por Winther e Achtenhagen (2009), a competência conceitual trata-se do conhecimento dos fatos, estruturas e redes de conhecimento que podem ser transmitidas em esquemas de ação. A competência procedural inclui a aplicação do conhecimento, ou seja, como operar com a competência conceitual. Já a competência interpretativa fornece, segundo este modelo, as conexões entre as características da configuração do problema e as metas do aprendiz.

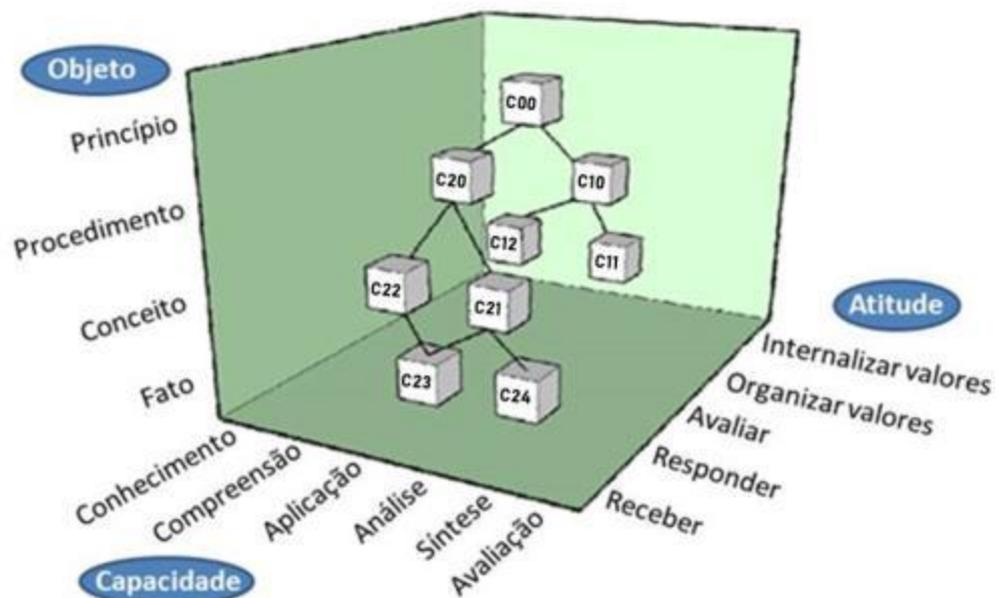
Por último, Sitthisak, Gilbert e Davis (2008) propuseram um modelo que eles denominaram de COMBA (do inglês “COMpetence-Based learner knowledge for personalized Assessment”). Segundo os autores, o desenvolvimento deste modelo justifica-se por buscar preencher uma lacuna em sistemas de avaliação educacional, que utilizam valores unidimensionais para comparar o conhecimento entre diferentes aprendizes, resultando em medições inconsistentes. No modelo COMBA proposto, é representado um espaço vetorial multidimensional onde as competências são representadas em uma estrutura de árvore. A partir deste modelo, os autores propõem que as avaliações ocorram de forma adaptativa, de acordo com a competência dos aprendizes.

No modelo COMBA, cada competência é classificada de acordo com três dimensões:

- capacidade, através da Taxonomia de Bloom (conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação), envolvendo os domínios do conhecimento e da habilidade intelectual;
- atitude, através da taxonomia proposta por Krathwohl (2002), que buscou estender a Taxonomia de Bloom para o domínio afetivo, podendo ser classificada entre receber, responder, avaliar, organizar valores e internalizar valores;
- objeto (do inglês, “subject matter”), através da Teoria da Exibição Componente (CDT, do inglês, “Component Display Theory”), proposta por Merrill (1994) para classificação entre fato, conceito, procedimento e princípio.

Além de classificar cada competência no espaço tridimensional proposto, elas são relacionadas entre si formando uma árvore, representada através de um grafo direto acíclico. Como exemplificado através da Figura 9, a competência C00 é decomposta em subcompetências C10 e C20, significando que C10 e C20 contribuem para C00. Sitthisak, Gilbert e Davis (2008) observam que um nó pode ter mais que um nó superior, desde que o nó superior não seja um subnível de um nó. Além disso, uma árvore de competências pode especificar subníveis em comum para mais do que um nó.

Figura 9 - Espaço Multidimensional do Modelo COMBA de competências



Fonte: adaptada de Sitthisak, Gilbert e Davis (2008)

Como visto até agora, várias taxonomias e modelos já foram desenvolvidos para a classificação de objetivos educacionais, muitos dos quais são utilizados como estruturas para a elaboração de sistemas de medição de competências. No entanto, é necessária cautela na adoção de modelos de competências. Conforme alertam Shippman et al. (2000), um dos principais problemas na modelagem de competências é o fato das organizações implementarem modelos sem a prévia validação dos mesmos.

Nesse sentido, Markus, Cooper-Thomas e Allpress (2005) apontam para uma das inconsistências: a confusão que pode existir na terminologia utilizada. Segundo eles, as competências são identificadas utilizando uma variedade de métodos de coleta de informações, critérios de comportamento são definidos e então, na falta de indicadores objetivos em relação ao desempenho, é usada a premissa de que as avaliações subjetivas são equivalentes ao desempenho efetivo, e mesmo assim usadas para validar o próprio construto de competência. Os autores também acrescentam que modelos de competência mal implementados provavelmente resultam em custos significativos devido a seus efeitos negativos quanto ao comprometimento organizacional, desempenho no trabalho e retenção de funcionários.

Uma vez escolhido o modelo de competências a adotar, outro elemento importante do sistema de avaliação de competências é a quantificação do nível de competência de cada indivíduo em relação a um determinado objetivo. Por outro lado, Jaques e Cason (1994) defendem que não é apenas a competência do indivíduo (o que os autores chamam de conhecimentos e habilidades) que define a capacidade existente para realização de uma determinada tarefa, mas ela também é função do interesse do indivíduo pela realização da tarefa, do nível de complexidade mental associado à tarefa e de disfunções individuais específicas do indivíduo, caso existam. Os autores propuseram a seguinte equação para expressar este modelo:

$$(1): \quad CAC = f(CMP, V, K/S, -T)$$

Onde CAC (“Current Applied Capability”) é a capacidade individual atual, CMP (“Complexity of Mental Processing”) é o nível de complexidade mental da tarefa, V é o valor ou interesse do indivíduo, K/S são os conhecimentos e habilidades e -T representa as eventuais disfunções existentes no indivíduo. Os autores ressaltam que a capacidade potencial

do indivíduo para a realização das tarefas, caso o indivíduo possua os necessários conhecimentos e habilidades, tem interesse pela tarefa e não possui algum tipo de disfunção para a realização da tarefa, acaba sendo definida apenas pela complexidade dos processos mentais atribuídos às tarefas em questão (CMP). O CMP, da forma como os autores definem, é similar ao que havia sido proposto na Taxonomia Revisada de Bloom referente à dimensão do processo cognitivo. A principal diferença está na forma como os autores atribuem às categorias que eles chamam de complexidade do processamento mental, segundo o Quadro 5.

Quadro 5 - Categorias de Complexidade do Processo Mental

Categoria	Complexidade da Informação	Tipo de Processo Mental
D4	Quarta Ordem Universal	Paralelo
D3	“	Serial
D2	“	Cumulativo
D1	“	Declarativo
C4	Terceira Ordem Abstrata Conceitual	Paralelo
C3	“	Serial
C2	“	Cumulativo
C1	“	Declarativo
B4	Segunda Ordem Simbólica	Paralelo
B3	“	Serial
B2	“	Cumulativo
B1	“	Declarativo
A4	Primeira Ordem Concreta	Paralelo
A3	“	Serial
A2	“	Cumulativo
A1	“	Declarativo

Fonte: Jaques e Cason (1994)

Ao longo dos anos em que sistemas de mensuração de competência foram propostos e tentou-se colocá-los em prática, muitos acabaram não sendo efetivamente adotados devido ao

grau de complexidade existente. Se por um lado, tem havido uma disponibilidade muito maior de recursos computacionais para facilitar os trabalhos de mensuração, por outro lado, percebe-se uma tendência nas organizações em preferirem métodos que sejam simples e dessa forma fáceis de explicar os valores atribuídos às competências, mesmo que com relativa subjetividade. Nesse sentido Russo (2016) apresenta o método adotado por muitas organizações, através de uma expressão matemática. Segundo o autor, o nível de competência “C” pode ser indicado na Equação 2.

$$(2): \quad 0 \leq C \leq 5$$

Utiliza-se normalmente uma tabela orientativa para definição do nível “C”, como a de dez pontos, apresentada por Shippman et al. (2000). Russo (2016) propõe uma escala de proficiência de zero a cinco, sendo zero o correspondente a nenhuma competência e cinco o nível de especialista na competência, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Exemplo de Escala de Proficiências

Nível de Proficiência	Descrição
Nenhum (0)	<input type="checkbox"/> Nenhuma competência para a função
Limitado (1)	<input type="checkbox"/> Competência limitada ou não utilizada para a função <input type="checkbox"/> Competência foi minimamente demonstrada <input type="checkbox"/> Pode ter tido poucas oportunidades para aplicar a competência <input type="checkbox"/> Pode ter tido limitada compreensão sobre a competência
Básico (2)	<input type="checkbox"/> Compreensão ou conhecimento básico necessário para a função <input type="checkbox"/> Compreensão e conhecimento suficiente para lidar com tarefas de rotina <input type="checkbox"/> Requer alguma orientação ou supervisão ao aplicar a competência <input type="checkbox"/> Entende e pode discutir a terminologia e conceitos relacionados à competência
Proficiente (3)	<input type="checkbox"/> Conhecimento detalhado, compreensão e aplicação da competência <input type="checkbox"/> Habilidade de lidar com problemas e situações não rotineiras <input type="checkbox"/> Requer mínima orientação e supervisão / trabalha de forma independente <input type="checkbox"/> Consistentemente demonstra sucesso na competência <input type="checkbox"/> Capaz de apoiar a outros na aplicação da competência

Avançado (4)	<input type="checkbox"/> Conhecimento, compreensão e aplicação altamente desenvolvidos da competência requerida para obter êxito na função e na organização (total maestria) <input type="checkbox"/> Pode aplicar o conhecimento fora do escopo da função <input type="checkbox"/> Pode apoiar ou ensinar outros na competência <input type="checkbox"/> Tem uma perspectiva de longo prazo <input type="checkbox"/> Ajuda a desenvolver materiais e recursos na área de competência
Especialista (5)	<input type="checkbox"/> Nível de conhecimento, compreensão e aplicação de especialista / autoridade na competência necessária para a função <input type="checkbox"/> Reconhecido por outros como um especialista na competência e uma referência por outros da organização (especialista na área) <input type="checkbox"/> Trabalha em times, departamentos e funções organizacionais <input type="checkbox"/> Aplica habilidades em múltiplos projetos e funções <input type="checkbox"/> Pode explicar assuntos em relação a outros mais amplos da organização <input type="checkbox"/> Cria novas aplicações ou processos <input type="checkbox"/> Tem um foco estratégico

Fonte: adaptado de Russo (2016)

Russo (2016) também apresenta a representação do conjunto de avaliações para as competências relacionadas a um determinado processo, denominada C_r , através da Equação 3, onde k é a quantidade de competências requeridas para o processo. Uma vez definidas as metas para cada competência, as lacunas de competências são identificadas pela comparação entre as metas e as avaliações realizadas.

$$(3): \quad C_r = f(C_{r(1)}, C_{r(2)}, \dots, C_{r(k)})$$

Westera (2001), ao discutir as cautelas necessárias em relação a sistemas de avaliação de competências, enfatiza que a avaliação de competências deve lidar com a reprodutibilidade, ou melhor, com o prognóstico quanto a comportamentos futuros. Segundo o autor, uma situação de teste bem controlada e bem definida pode não ser adequada para a avaliação de competências, uma vez que as competências tipicamente requerem ambientes únicos e mal definidos para serem demonstradas. Além disso, mesmo que se tenha bom desempenho em ambientes dessa natureza, não é claro que isso garanta o desempenho em ambientes novos e situações substancialmente diferentes e complexas. O autor conclui que a

avaliação de competências deve incluir o tema da transferência, requerendo vários ambientes únicos com complexidade suficiente.

Uma cautela final está relacionada a potencial confusão entre o conceito de avaliação de competências de um indivíduo com a avaliação de competências de uma organização, sendo esse último também conhecido como modelo de avaliação do grau de maturidade das organizações. Alguns trabalhos de pesquisa e de organizações voltadas ao treinamento vocacional, como o SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), propuseram instrumentos de avaliação do grau de maturidade de organizações industriais para a Indústria 4.0. De acordo com o SENAI (2019), tais instrumentos são úteis para “identificar a realidade e as necessidades de cada organização para facilitar a construção de um plano de ação rumo à transformação digital”. Segundo a mesma instituição, o instrumento de avaliação adotado por eles foi elaborado em parceria entre o ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica) e o Instituto Fraunhofer da Alemanha, sendo baseado no modelo da ACATECH (Academia Alemã de Ciência e Engenharia). De qualquer forma, tais instrumentos de avaliação podem ser úteis no entendimento do contexto das organizações onde se pretende desenvolver competências.

Entre as perguntas do questionário do SENAI (2019a) estão: “Quais áreas da empresa receberam investimentos na implantação de Indústria 4.0 nos últimos dois anos?”, “Qual é o nível de envolvimento, apoio e conhecimento dos líderes da empresa (direção-executiva e gerentes-sênior) com relação ao tema Indústria 4.0?”, “Qual é o nível do uso de sensores no chão de fábrica?”, entre outras. Após o preenchimento do questionário pela organização, a mesma é classificada em um determinado estágio, conforme descrito a seguir:

- Estágio 1: as organizações planejam a produção por meio de métodos empíricos e a controlam por meio de pranchetas e papel;
- Estágio 2: as organizações implementam métodos de manufatura enxuta e utilizam sensores para coletar informações em tempo real, conectando a produção a sistemas de gerenciamento de produção;
- Estágio 3: a organização está inserida de fato na rota rumo à Indústria 4.0, utilizando tecnologias como computação em nuvem, *big data* e *machine learning*;
- Estágios 4 e 5: é possível prever situações e adaptar-se rapidamente com uso de sistemas de suporte à decisão, inteligência artificial e robótica colaborativa.

2.1.4 Desenvolvimento de Competências

O desenvolvimento de competências trata-se de uma porção relevante do objeto de estudo da presente tese. O objetivo, do ponto de vista de processo, e de forma pragmática, consiste no fechamento de lacunas de competências previamente identificadas, a partir da comparação entre o nível de competência desejado e o verificado num indivíduo. Por outro lado, para que o desenvolvimento de competências seja abordado de forma ampla, é necessário considerar uma série de questões, tais como:

- quais as diferentes maneiras de desenvolver competências?
- quais as principais variáveis atreladas ao ensino e como impactam o aprendizado?
- qual o impacto das diferenças individuais entre os aprendizes e como lidar com elas?
- quais as principais tecnologias digitais virtuais e como elas podem ser aproveitadas?
- quais as principais teorias de ensino e aprendizagem e como elas podem contribuir para o desenvolvimento de competências?
- quais os principais métodos já desenvolvidos para o desenvolvimento de competências?

Responder a todas essas perguntas de forma aprofundada não é um dos objetivos da presente tese. No entanto, são questões que, considerando a delimitação da presente pesquisa, serão exploradas na revisão do referencial teórico. Algumas dessas questões serão tratadas em outros tópicos, os quais são mencionados ao longo do texto.

As dificuldades e desafios vinculados ao desenvolvimento de competências através do ensino têm sido discutidos na literatura há muitos anos. Conforme Fletcher (2018), há mais de cem anos, o psicólogo americano Edward Lee Thorndike já ressaltava em 1906 um aspecto fundamental; ele teria afirmado que a principal consequência das diferenças entre os indivíduos é que toda lei geral de ensino deve ser aplicada considerando cada pessoa em particular, uma vez que as respostas a qualquer estímulo variam de acordo com as capacidades individuais, interesses e experiências prévias.

Várias pesquisas ao longo do último século foram conduzidas para avaliar a variabilidade do aprendizado entre os estudantes e o impacto de mudanças nos métodos de ensino na taxa de aprendizado. Gettinger e White (1980) e Suppes et al. (1975), por exemplo, identificaram uma variação na taxa de aprendizado na ordem de quatro vezes em alunos da escola fundamental, em função de diferenças individuais entre os estudantes.

Benjamin Bloom, o mesmo que deu nome à famosa taxonomia de objetivos educacionais, participou de várias pesquisas quantitativas visando avaliar o impacto no aprendizado a partir de mudanças em variáveis, tais como o número de alunos por turma até o limite de tutoria (um professor por aluno), qualidade do ensino, eficiência na utilização do tempo, etc. Bloom (1984) descreveu os resultados reportados em estudos realizados entre 1980 e 1983 no que ele chamou de “o problema 2 Sigma” (do inglês, “the 2 Sigma Problem”). Em resumo, os principais fatores indicados nas pesquisas de Bloom para alcançar o nível de desempenho superior (2 sigma, que significa dois desvios padrões acima da média) foram a tutoria individual e o chamado “Mastery Learning” (ML). No ML, conforme resume Nunes (2017, p.6), os “[...] preceitos estão baseados na realização de atividades de reforço e na avaliação constante do aluno, que buscam resultar na aprendizagem com maestria dos conteúdos abordados”.

Por outro lado, Le Boterf (1994) relacionou a forma de desenvolver as competências com os seus objetivos (ou tipo e função, como o autor as denominou), conforme Quadro 7. O autor identificou cinco formas gerais de desenvolver as competências: educação formal, educação profissional, educação continuada, experiência profissional e experiência social.

Quadro 7 - Processo de Desenvolvimento de Competências

.Tipo	Função	Como Desenvolver
Conhecimento Teórico	Entendimento, interpretação	Educação formal e continuada
Conhecimento sobre os procedimentos	Saber como proceder	Educação profissional e experiência profissional
Conhecimento empírico	Saber como fazer	Experiência profissional
Conhecimento social	Saber como comportar-se	Experiência social e profissional
Conhecimento cognitivo	Saber como lidar com a informação, saber como aprender	Educação formal e continuada, experiência social e profissional

Fonte: Le Boterf (1994)

Segundo Le Boterf (1994), o conhecimento empírico seria o resultado da aplicação do ciclo de aprendizagem que ficou conhecido como o “modelo de Kolb” (ou “ciclo de Kolb”), o qual envolve inicialmente uma experiência concreta do aprendiz, seguida de uma reflexão, depois ocorre a abstração em relação aos conceitos e finalmente a experiência ativa, retornando novamente ao ponto inicial do ciclo. O Ciclo de Kolb será detalhado no item 2.2.3. Um dos pontos que aparecem refletidos nesta abordagem de Le Boterf é o paradigma de que alguns tipos de competências, como o conhecimento empírico, não poderiam ser desenvolvidos nem parcialmente através da educação e treinamento, sendo eles: as competências empíricas e sociais. Como será tratado posteriormente no item 2.6, a tecnologia hoje permite confrontar tal paradigma através de processos de virtualização.

Um método de desenvolvimento de competências é o que permite conectar as estratégias, filosofias e políticas educacionais com as táticas de instrução, ou atividades pedagógicas, que por sua vez resultam no fechamento de lacunas de competências. O paradigma *Design* Instrucional tem gerado diversos modelos e segundo a classificação de Gustafson e Branch (2002), há três tipos de modelos: os orientados à sala de aula, os orientados ao produto e os orientados ao sistema. Alguns modelos e teorias associadas a eles serão detalhados no tópico *Design* Instrucional, abordado no item 2.3.

2.1.5 Competências na Indústria 4.0

Significativos avanços tecnológicos iniciados cerca de duzentos anos depois da chamada 1ª Revolução Industrial têm impactado a organização econômica, política e social das sociedades do mundo. A Quarta Revolução, conforme ilustrada na Figura 10, também chamada de Indústria 4.0, representa progressões de tal ordem que estão impactando na escala, escopo e complexidade dos negócios no século XXI. (MAGALHÃES E VENDRAMINI, 2018).

O nome Indústria 4.0, assim como os seus conceitos principais, têm a sua origem na publicação em 2012 do grupo de trabalho “Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft”; uma consultoria ligada à estratégia de alta tecnologia do governo da Alemanha. Um relatório final deste grupo de trabalho foi apresentado na feira de Hannover em 2013, servindo de guia geral para o tema até hoje.

O impacto percebido pelos avanços nas tecnologias na verdade tem ocorrido desde a 3ª Revolução Industrial, devido principalmente às Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). No contexto industrial, as TICs eram utilizadas para automação industrial e controle

de processos. O que está sendo apresentado no paradigma da Indústria 4.0, segundo Hartmann e Bovenschulte (2013), é levar a aplicação das TICs para outro patamar, caracterizado pelo uso intenso de sistemas ciberfísicos (CPS, do inglês *Cyber Physical Systems*). Os autores explicam que os CPS são sistemas inteligentes distribuídos, incluindo componentes eletrônicos, mecânicos e óticos. Estes componentes normalmente incluem funções de sensoriamento, processamento de informações e muitas vezes funcionam também como atuadores no sistema. Estes componentes são incorporados em redes de comunicação, onde reside o paradigma de internet das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*). Schuster et al. (2015) acrescenta que a visão da Indústria 4.0 é caracterizada por processos de produção altamente personalizados e ao mesmo tempo interconectados.

Figura 10 - As Quatro Revoluções Industriais



Fonte: Magalhães e Vendramini (2018)

De acordo com as previsões de Schuster et al. (2015), no contexto da indústria 4.0 a realidade virtual e a virtualização se fundirão cada vez mais e equipes internacionais colaborarão ao redor do mundo utilizando mundos virtuais imersivos. Neste sentido, os autores indicam que têm sido percebidas mudanças na área de ensino e aprendizagem, migrando de ambientes virtuais de aprendizado que apenas armazenam documentos, para complexos ambientes virtuais de aprendizado. No entanto, os autores concluem que os ambientes virtuais de aprendizagem ainda estão longe de se poder chamar de estado da arte.

Um dos elementos da Indústria 4.0 que geralmente são citados é o chamado de gêmeo digital (do inglês *digital twin*). Conforme definem Durão et al. (2018), o gêmeo digital é um modelo muito realista do estado atual de um processo e o comportamento dele ao interagir

com o ambiente no mundo real. Os gêmeos digitais são normalmente utilizados não apenas para representação do processo real, mas também servem para prever um comportamento do produto, possibilitando processar uma grande quantidade de dados e através de técnicas de simulação aperfeiçoar os produtos e os processos de produção (DURÃO et al., 2018).

O interesse pela Indústria 4.0 e seu potencial impacto na sociedade como um todo tem sido evidenciado por uma série de iniciativas no âmbito acadêmico, industrial e governamental em vários países, além da Alemanha, onde o termo Indústria 4.0 foi cunhado. No Brasil, algumas iniciativas regionais têm buscado contribuir para trazer o tema à pauta de discussões acadêmicas, governamentais e industriais, além de apoiar empresas interessadas no desenvolvimento do tema. Na UFRGS, o Núcleo de Engenharia Organizacional (NEO), vinculado à Engenharia de Produção, tem desenvolvido o projeto “Indústria 4.0 e digitalização”, tendo como problemas de pesquisa centrais (NEO, 2018):

- Quais as principais tecnologias 4.0 a serem adotadas e como estas impactam no desempenho industrial?
- Quais as mudanças que a digitalização industrial traz para os modelos de negócios industriais?
- Quais as capacidades que uma empresa precisa desenvolver para atuar no paradigma da Indústria 4.0?
- Quais as competências complementares que um ecossistema precisa desenvolver para poder competir no contexto da Indústria 4.0?

O primeiro trabalho publicado pelo grupo foi o mapeamento tecnológico para fornecedores da indústria 4.0, cujo evento de divulgação foi realizado na Escola de Engenharia da UFRGS em dezembro de 2017. O passo seguinte foi a formação da chamada Aliança Local para Manufatura 4.0 (ALMA 4.0), o qual, segundo divulgado na página do grupo tem como missão “desenvolver soluções integrais para a Indústria 4.0 mediante a complementação e integração de competências e tecnologias das empresas parceiras, buscando atender necessidades empresariais no contexto regional do Estado do Rio Grande do Sul”. Outro projeto já realizado foi o mapeamento de necessidades tecnológicas relacionadas à Indústria 4.0 no setor de Máquinas e Equipamentos da ABIMAQ-RS.

Um dos meios de divulgação dos conceitos da Indústria 4.0 em centros de pesquisa e feiras de tecnologia tem sido a utilização de demonstradores de Manufatura Avançada tem se popularizado nos últimos anos. Neste sentido, Colotla et al. (2016) relata como uma das nove

iniciativas estratégicas para acelerar a Indústria 4.0 justamente a utilização de centros de demonstração de tecnologias associadas à Indústria 4.0.

Moultrie (2015) propôs uma classificação para demonstradores de acordo com os seus papéis, refletindo uma lista de motivos pelos quais os demonstradores podem ser utilizados em diferentes estágios de desenvolvimento de uma solução tecnológica. No caso dos demonstradores para Manufatura Avançada, eles melhor encaixam-se na classificação “demonstradores de tecnologia”, proposta pelo autor. Nesta classificação os seguintes papéis são aplicáveis: convencimento de potenciais investidores, visualização de aplicações futuras e demonstração de viabilidade técnica de futuras aplicações.

Há relatos da utilização de vários demonstradores voltados à Indústria 4.0, inclusive no Brasil. Yanai et al. (2017), por exemplo, relata que edição de 2016 da FEIMEC (Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos), que ocorreu no Brasil, utilizou um demonstrador de Manufatura Avançada onde um produto poderia ser personalizado pelo cliente e uma plataforma virtual permitia controlar todo o processo produtivo. De forma similar, na feira EXPOMAFE 2019 foi utilizado o chamado “Demonstrador de Soluções Tecnológicas na Indústria 4.0”, que de acordo com SKA (2019) foi um projeto de iniciativa da ABIMAQ (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos) e do IPDMAQ (Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Máquinas e Equipamentos). Também foi identificada pelo menos uma iniciativa de demonstrador virtual, utilizada na feira CeBIT 2015. Nesta aplicação, segundo Bitflare (2019), foi desenvolvida uma fábrica futurística virtual que apresentava a operação de montagem de células de combustível através de um robô.

A integração dos conceitos da indústria 4.0 aos sistemas de produção tende a causar mudanças significativas nas demandas de trabalho, as quais precisam ser atendidas pelos funcionários. Segundo Dombrowski e Wagner (2013), as tarefas de trabalho, que eram orientadas para a tecnologia, estão sendo convertidas em tarefas orientadas para o processo, com conteúdos que mudam frequentemente. Os autores explicam que enquanto nos anos 1980, quando estava em voga o conceito de Manufatura Integrado por computador (CIM, do inglês, *Computer Integrated Manufacturing*), o objetivo da indústria 4.0 é dar foco ao ser humano no sistema de trabalho. Dessa forma, os sistemas ciberfísicos buscam a melhor combinação entre processos automatizados e tarefas manuais, resultando em sistemas híbridos.

Nesse contexto, os funcionários são demandados a executar tarefas manuais complexas e a controlar e gerenciar máquinas e processos. Dessa forma, Dombrowski e Wagner (2013) afirmam que é esperado que a Indústria 4.0 afete nas demandas cognitivas dos funcionários. Segundo eles, a tensão mental (do inglês, *mental strain*) pode ser identificada como um campo de atuação para a implementação da Indústria 4.0, porém a relação entre as tecnologias da indústria 4.0 e as demandas mentais ainda não foram adequadamente endereçadas.

Aires, Moreira e Freire (2017) conduziram uma revisão sistemática de publicações que tratam do tema indústria 4.0, identificando competências a partir de seis artigos científicos da base de dados internacional *Scopus* e três estudos publicados por renomadas organizações que estudam o tema. O resultado dessa revisão sistemática foi compilado em nove grupos de competências, ilustrados no Quadro 8.

Quadro 8 - Competências requeridas pelos profissionais da Indústria 4.0

Grupo de Competências	Competências
1. Habilidades Cognitivas	flexibilidade cognitiva, raciocínio lógico, sensibilidade para problemas, raciocínio matemático
	criatividade, reprodução de conhecimentos simples, empreendedorismo, inovação
2. Habilidades Físicas	força física, destreza manual e de precisão, físico saudável
3. Competências de Conteúdo	aprendizagem ativa, expressão oral, compreensão de leitura, expressão escrita
	alfabetização em TIC, interação com outras áreas do conhecimento, aprendizagem, comunicação
4. Competências de Processo	escuta ativa, pensamento crítico, monitoramento próprio e dos outros
5. Competências Sociais	coordenação de equipe, inteligência emocional, negociação, persuasão, treinamento de pessoas
	trabalho em equipe multidisciplinar, responsabilidade social e moral, independência
6. Competências Sistêmicas	juízo e tomada de decisão, análise sistêmica
7. Competências para solucionar problemas	solução de problemas complexos

8. Competências de gestão de recursos	gestão de recursos financeiros, recursos materiais, pessoas e tempo, desenvolvimento sustentável
9. Competências técnicas	controle, operação e manutenção de equipamentos, programação, controle da qualidade
	conhecimentos técnicos

Fonte: adaptado de Aires, Moreira e Freire (2017)

O desenvolvimento das competências para os futuros profissionais que atuarão na Indústria 4.0 deve contemplar questionamentos em relação às formas pelas quais a aprendizagem ocorre. Isso deve passar por uma análise crítica das teorias de ensino e aprendizagem adotadas atualmente nas escolas e universidades e ao confronto das mesmas com os objetivos de aprendizagem considerados no escopo da presente tese. No próximo item será apresentada uma revisão dos principais enfoques teóricos de ensino e aprendizagem. Neste sentido, remetendo ao contexto de inovação e mudança fomentado pela Indústria 4.0 e ao cenário no qual a Escola e a Universidade hoje se encontram, Castioni (2019, p.9) foi enfático ao comentar:

“[...] as cidades mudaram, a fábrica mudou, o futebol mudou. Tudo! A escola ainda continua reproduzindo um conhecimento centrado no professor e estabelecendo uma hierarquia entre um superior que dá ordens e inferiores que obedecem. Isso precisa radicalmente ser modificado. A escola tem de recuperar o aluno como centro do seu projeto de aprendizagem. A pedagogia precisa problematizar como se aprende e não a idealização do aprendizado.”

2.2 TEORIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM

O desenvolvimento de competências tem sido permeado por diferentes enfoques teóricos de ensino e aprendizagem, os quais foram desenvolvidos ao longo de vários anos por diferentes linhas de pesquisa. De acordo com Tarouco et al. (2014), os quatro grandes grupos de enfoques teóricos de ensino e aprendizagem são: Comportamentalismo, Cognitivismo, Construtivismo e Humanismo. A seguir os três primeiros serão detalhados, incluindo alguns conceitos transversais que podem ser úteis para o desenvolvimento da presente pesquisa, como aprendizagem ativa e aprendizagem experiencial. Maior enfoque será dado às teorias mais aderentes ao objeto de estudo, considerando a delimitação da pesquisa. O Humanismo

não será abordado, pelo entendimento de que possui pouca relevância para os objetivos e delimitação da pesquisa.

2.2.1 Comportamentalismo

A preocupação central do comportamentalismo, também chamado de behaviorismo (do inglês, *behaviourism*), reside nos aspectos observáveis e mensuráveis do comportamento humano (ZHOU E BROWN, 2017). De acordo com Dias (2010), principalmente nos anos 1960, o comportamentalismo teve uma grande influência nos objetivos pedagógicos, através da identificação dos comportamentos expressos pelos alunos e promovendo os níveis de desempenho considerados como sendo adequados.

Segundo Zhou e Brown (2017), os pesquisadores John B. Watson (1878-1958) e B. F. Skinner (1904-1990) teriam sido os dois principais precursores do uso da abordagem comportamentalista no aprendizado. Enquanto Watson tenha desenvolvido os conceitos básicos do modelo de estímulo e resposta, Skinner teve uma contribuição significativa ao formular os princípios básicos do que veio a ser conhecido como condicionamento operante. Conforme explica Antunes (2002), no condicionamento operante a consequência seguinte a um comportamento, chamada de reforço, aumenta a probabilidade de que ele se repita. Ou seja, Skinner defendia a ideia que todo aprendiz tende a repetir uma resposta que tenha sido reforçada e a suprimir uma resposta que tenha sido punida. Conforme citado por Skinner (1972, p.74): “as coisas que chamamos de agradáveis possuem um efeito energizante ou de reforço em nosso comportamento”.

O comportamentalismo até hoje é alvo de críticas de vários profissionais da educação. Zhou e Brown (2017) explicam que uma das críticas usuais é que o comportamentalismo representa uma visão muito determinística do comportamento humano ao ignorar os processos mentais e psicológicos dos aprendizes, em outras palavras, o comportamentalismo seria uma simplificação exagerada do comportamento humano. Outra crítica apontada pelos autores é que ao ignorar os processos mentais ou psicológicos internos, o comportamentalismo desconsidera a possibilidade de aprendizado sem que haja estímulos externos.

2.2.2 Cognitivismo

O cognitivismo é considerado uma contraposição ao enfoque comportamentalista de aprendizagem. Ostermann e Cavalcanti (2010) explicam que o cognitivismo enfoca o processo de cognição, através do qual o indivíduo atribui significados à realidade onde ele se encontra. Enquanto o comportamentalismo foca sua atenção nos aspectos observáveis do

comportamento humano, no cognitivismo a proposta é analisar a mente, o ato de conhecer, como são desenvolvidos os conhecimentos acerca do mundo, analisando aspectos que intervêm no processo de estímulo e reação.

Um dos conceitos da abordagem cognitivista que se diferencia do comportamentalismo é o da aprendizagem significativa. Segundo Bock, Furtado e Teixeira (2008), este tipo de aprendizagem ocorre quando um novo conteúdo se relaciona, ou se ancora a conceitos já disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo, sendo assim assimilado por ela e atribuindo significado. Estes pontos de ancoragem são o que Ausubel (1963) denominava de subsunções da aprendizagem. Desta forma a aprendizagem significativa não é apenas uma simples associação de informações, mas ocorre através de processos de interação.

Os pesquisadores Renner et al. (1976), tratando sobre desenvolvimento cognitivo, apontaram dados preocupantes de uma pesquisa da época: apenas cerca de 35% dos alunos do último ano do Ensino Médio de países industrializados estavam alcançando o último estágio de desenvolvimento cognitivo, conforme definido por Piaget, que é o chamado estágio operatório formal. Segundo Rizzi e Costa (2004), quando este estágio é atingido, ultrapassa, em muito, o pensamento concreto (estágio anterior de desenvolvimento cognitivo), pois o primeiro engloba, além do mundo real, as construções indefinidas da dedução racional e da vida interior. Conforme sugerem Huit e Hummel (2003), partindo da premissa que essa realidade se mantém até hoje, esse dado serve como um alerta sobre o desenvolvimento de conteúdos educacionais para estudantes que são cronologicamente adultos, mas possuem limitações em compreender conceitos abstratos. Os autores sugerem basicamente duas estratégias: utilizar modelos visuais e ensinar conceitos amplos ao invés de fatos, buscando situar estes em um contexto que faça sentido e seja relevante aos aprendizes.

De acordo com Santos (2006), apesar de o cognitivismo ter surgido quase na mesma época que o comportamentalismo, teve maior destaque nos anos 1990, quando foram resgatados alguns estudos teóricos da área da Psicologia Cognitiva, como os dos pesquisadores Piaget e Vigotsky. Segundo o autor, seus estudos serviram de base para teóricos do campo educacional desenvolvessem a teoria de aprendizagem denominada de Construtivismo, a ser descrita a seguir.

2.2.3. Construtivismo

No construtivismo acredita-se que a competência ocorre através da construção de significados. Jonassen (1996) explicava que os significados são individuais e, portanto, não

são construídos da mesma maneira por todos os sujeitos. Segundo Tarouco et al. (2014), no construtivismo a metodologia de trabalho baseia-se na orientação da aprendizagem, visando a formação de um pensamento autônomo.

O construtivismo possui um largo espectro, mas entre as suas várias vertentes, é possível identificar como denominador comum a ênfase ao aluno como fator primordial da aprendizagem, decorrente da perspectiva de Piaget sobre o papel de protagonismo do sujeito na construção do seu conhecimento (BIDARRA E FESTAS, 2005). Massabni e Ravaganni (2008) elucidam que a orientação predominante no sistema de ensino do Brasil é o chamado construtivismo piagetiano.

No construtivismo piagetiano, parte-se do princípio de que o saber não é algo que chega a ser concluído, mas sim um processo em constante construção. Nessa construção, Piaget entendia que o desenvolvimento de competências ocorria inicialmente através da assimilação, que ele assim ressaltava: “A importância da noção de assimilação é dupla. De um lado implica a noção de significação, o que é essencial, pois todo conhecimento refere-se a significações [...]. Por outro lado, exprime o fato fundamental de que todo o conhecimento está ligado a uma ação [...]” (PIAGET, 1967, p. 14). Segundo Piaget (1967), a assimilação era, juntamente com a acomodação, um processo complementar para que seja atingido chamado equilíbrio cognitivo do sujeito, o que ele chamava de processo de adaptação. O processo de acomodação, por sua vez, refere-se às modificações que ocorrem nos esquemas cognitivos, como resultado de novas informações absorvidas através da assimilação.

De acordo com Ostermann e Cavalcanti (2011), uma das influências da teoria de Piaget é o recurso aos métodos ativos, dando ênfase à pesquisa espontânea do aprendiz através de trabalhos de cunho prático, de forma que os conteúdos sejam reconstruídos pelos alunos e não apenas transmitidos pelo professor. Em outras palavras, apenas a apresentação do conteúdo pelo professor ou mesmo a demonstração de um experimento pelo professor, monitores ou colegas não é suficiente para que o aluno atinja um bom nível de aprendizado. O próprio aluno necessita apropriar-se do processo de aprendizagem e analisar as estratégias apropriadas para ação, experimentá-las e então utilizar alguma abordagem alternativa quando o resultado observado não atingir as expectativas. Este processo é o que Piaget (1967) chamava de abstração reflexiva, que é o processo pelo qual as propriedades essenciais de um objeto são compreendidas, permitindo que sejam inferidas possíveis ações de reação em outros contextos.

O aprendizado experiencial, conforme proposto por David Kolb, trata-se de um conceito similar ao do aprendizado ativo de Piaget (1967). O aprendizado experiencial funcionaria como um gatilho para o processo de aprendizado, sendo seguido pela observação reflexiva, a qual promove a análise de fatos e comportamentos observados, um resumo dos seus aspectos relevantes e significativos e dá origem a um julgamento de valor que antecipa os comportamentos e fenômenos de reação observados em outros contextos.

Figura 11 - Ciclo de Aprendizagem Experiencial



Fonte: adaptado de Kolb e Fry (1975)

A Teoria de Aprendizagem Experiencial define o aprendizado como o processo pelo qual ocorre o desenvolvimento do indivíduo. Essa relação entre aprendizado e desenvolvimento difere de algumas concepções tradicionais, nas quais os dois processos são colocados como relativamente independentes, sugerindo que o aprendizado seja um processo subordinado, mas não envolvido ativamente no desenvolvimento do indivíduo: para aprender o indivíduo utiliza-se das conquistas que o seu desenvolvimento proporcionou, mas este aprendizado não muda o curso do desenvolvimento em si. O modo como é descrito pelo nível de estrutura integrativa nos quatro modos de aprendizagem (RIVERA-CASTRO et al., 2008).

O Ciclo de Aprendizagem é o conceito mais amplamente reconhecido e utilizado na Teoria de Aprendizagem Experiencial (KOLB, 2015). Também conhecido como Ciclo de Kolb, ele sugere a existência de quatro estágios de aprendizagem, que ocorrem em sequência,

conforme ilustrado na Figura 11. O Ciclo de Aprendizagem Experiencial inicia no estágio chamado de Experiência Concreta, onde o aluno leva a cabo uma ação específica (experiência) e observa o efeito da ação executada. Em seguida, ocorre a Observação Reflexiva, que se trata de entender os efeitos da ação tomada, de tal forma que se a mesma ação fosse tomada em mesmas circunstâncias, seja possível antecipar o resultado da ação.

Segundo Kolb e Kolb (2018), na fase de conceptualização o foco é compreender o significado da experiência, geralmente com a adição de leituras ou exposição de assuntos relacionados. É nessa fase que ocorre a formação de conceitos abstratos na mente do aprendiz, desenvolvendo o domínio cognitivo da situação. Os aprendizes então, no estágio de Experimentação Ativa, são estimulados a aplicar o que aprenderam no seu próprio contexto. O Ciclo de Aprendizagem Experiencial, conforme ressaltam Kolb e Kolb (2018), é um círculo recursivo ou espiral, em oposição ao modelo de aprendizagem linear e tradicional de transmissão de informações do professor ao aprendiz.

2.3 DESIGN INSTRUCIONAL

O *Design* Instrucional (DI) possui uma natureza prescritiva, uma vez que estabelece métodos pragmáticos (heurísticas) de como o desenvolvimento de competências deve ser levado a cabo, ou seja, visam ser úteis como guias para a prática profissional. Portanto, constitui-se com um arcabouço relevante para a presente tese, uma vez que o seu objetivo central dela é desenvolver um novo método instrucional aplicável no contexto profissional. Buscando esclarecer a definição de DI, Wilson (1997, p.6) enfatiza: “as teorias de DI estão conceitualmente muito mais próximas da Engenharia do que da Ciência, uma vez que elas estão preocupadas em como fazer algo, como projetar uma solução, e não em entender como é o mundo.”.

A tendência de adoção de enfoques teóricos cognitivistas, associada às crescentes demandas cognitivas e os avanços tecnológicos, de acordo com Duffy e Cunningham (1996) tem confrontado a disciplina de DI e culminado com um forte debate entre construtivismo e objetivismo, o qual teria se intensificado nos 1990. Neste debate, a linha de abordagem defendida por Wilson (1997) parece ser equilibrada. Segundo o autor, é possível conciliar o enfoque construtivista com o objetivista proposto pelo DI, embora possam parecer antagônicos. O autor apresenta uma série de argumentos para tal possibilidade, entre eles que o construtivismo é mais uma filosofia, ou forma de ver o mundo, do que uma estratégia. Nesse sentido, Wilson (1997) rejeita a ideia de que uma determinada estratégia instrucional

seja inerentemente construtivista ou objetivista. O autor defende que mesmo uma estratégia instrucional do tipo Exercício e Prática (em inglês *Drill & Practice*), não necessariamente viola a filosofia construtivista, visto que depende do contexto onde a estratégia é utilizada.

Ao analisar o Ciclo de Aprendizagem Experiencial (Ciclo de Kolb) à luz do enfoque pragmático do DI, conclui-se que tal ciclo, embora apresente etapas claramente definidas, não estabelece um modelo prático para o desenvolvimento das atividades instrucionais. O Ciclo de Kolb pode ser entendido mais como um modelo que ajuda a explicar como os alunos aprendem. Acredita-se que o grande potencial está em associar um modelo que explica como os alunos aprendem, como o de Kolb, com outro que ajude a levar a cabo as atividades práticas instrucionais (um modelo de DI).

De acordo com o que estabelecem Schott e Seel (2015), os modelos de DI encontrados na literatura podem ser classificados em três gerações. A primeira geração incluiria o desenvolvimento de modelos de DI procedurais, usualmente ilustrados através de fluxogramas. A segunda geração, segundo os autores, contém abordagens que podem ser definidas como “engenharia educacional”, uma vez que buscam a automação de partes do processo de *design* como um todo. Já a terceira e atual geração contém abordagens que no projeto de ambientes de aprendizagem buscam a derivação de princípios baseados em pesquisas e possuem uma base teórica mais robusta. Segundo Schott e Seel (2015), atualmente a grande maioria das aplicações de DI correspondem à primeira e terceira gerações.

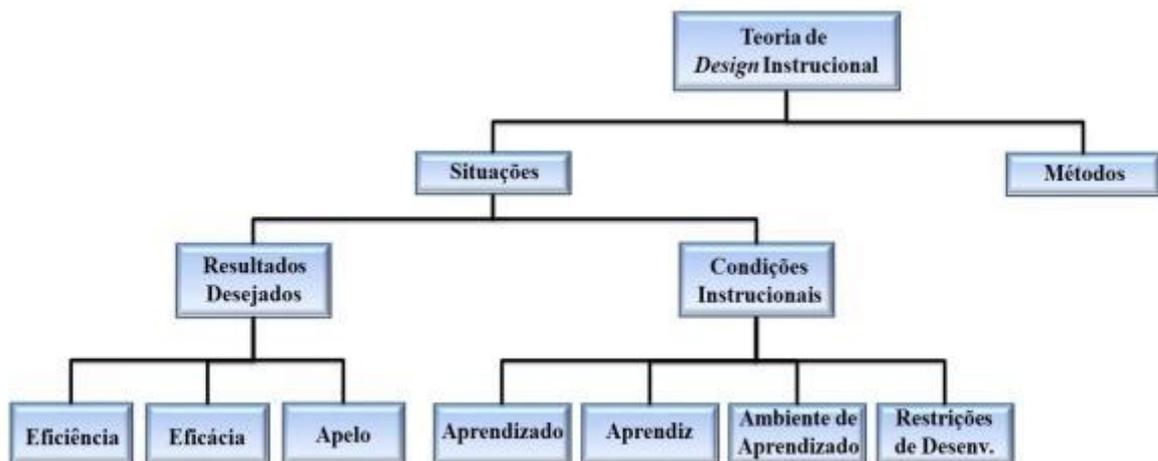
Reigeluth (1999), um pesquisador renomado na área de DI, defende que uma teoria de DI requer pelo menos dois componentes: métodos para facilitar o ensino e aprendizagem (método instrucional) e indicações de quando ou não usar os métodos, o que o autor chamou de situações. Por sua vez, as chamadas situações, segundo o autor definiu, devem ser definidas a partir de dois principais aspectos: as condições sob as quais a instrução ocorre e os resultados esperados da instrução, o que o autor chamou de condições instrucionais, conforme ilustrado na Figura 12. O autor detalha cada um destes aspectos, conforme descrito a seguir.

Quanto às condições instrucionais, Reigeluth (1999) as classificou entre aprendizado, aprendiz, ambiente de aprendizagem e restrições para o desenvolvimento instrucional. O aprendizado refere-se à natureza do que deverá ser aprendido, aprendiz refere-se à natureza do aprendiz (por exemplo, conhecimentos prévios, motivações), o ambiente de aprendizagem refere-se a como será feito o treinamento (em turmas de vários alunos, em pequenos grupos

ou individualmente) e por último as restrições referem-se a quanto tempo e orçamento poderão ser utilizados para o planejamento e desenvolvimento da instrução.

Reigeluth (1999) também detalha as categorias relacionadas a resultados esperados, porém antes esclarece que o item “resultados esperados” não se refere a metas de aprendizagem específicas, visto que a natureza do que deverá ser aprendido já está categorizada no item de condições instrucionais. O nível de eficácia, segundo o autor, representa o que grau de proficiência que a instrução possibilita atingir. Já o nível de eficiência é dado pelo nível de eficácia dividido pelo tempo ou custo da instrução. Por último, a categoria “apelo” significa o quanto os aprendizes gostam da instrução.

Figura 12 - Componentes das Teorias de Design Instrucional



Fonte: Reigeluth (1999)

Wilson (1997) citou uma série de pontos que deveriam ser seguidos para o desenvolvimento de um DI, os quais são compilados a seguir:

- A instrução projetada deve oferecer experiências holísticas e ricas em informação, permitindo oportunidades para o domínio de conteúdos não analisados;
- Simplicidade e flexibilidade de princípios: devem ser baseados em princípios genéricos e aplicáveis em várias situações encontradas na prática diária;
- Heurística: devem prever como lidar com problemas recorrentes na prática instrucional e ser sensível ao local de aplicação (escolas, negócios, museus, etc.), ao tipo de mídia (computador, livro, sala de aula, etc.), ao tipo de produto (sistema, programa, etc.) e recursos (tempo, orçamento e outras restrições);

- Esquemas de DI sofisticados: devem ir além de modelos tecnicamente racionais existentes;
- Encorajamento dos estudantes: devem ser estimulados a desenvolver modelos individuais através de apoio e oportunidades para a reflexão.

Göksu et al. (2017) conduziram uma pesquisa bibliométrica detalhada sobre publicações na área de *Design Instrucional*. Os autores buscaram publicações de revistas científicas nas plataformas *ScienceDirect*, *Web of Knowledge* e *EBSCOhost*, revelando 352 estudos de 102 revistas entre 1999 e 2014, utilizando as palavras-chave “model” e “instructional design”. Cada artigo foi analisado individualmente e chegaram ao total de 113 artigos de 44 revistas científicas, após filtrar algumas publicações não pertinentes ao estudo.

A partir dos artigos selecionados, Göksu et al. (2017) buscaram identificar quais os modelos de DI foram citados e quais os benefícios identificados nas publicações quanto ao aprendizado. Os benefícios foram classificados a partir de quinze variáveis pré-definidas, como pensamento crítico, motivação, capacidade de resolução de problemas, etc. O Quadro 9 apresenta os sete modelos de DI com maior ocorrência nas publicações identificadas, relacionando-os com as variáveis consideradas de interesse para a presente tese e que teriam resultado em benefícios.

A maioria dos modelos de DI foi construída tendo como base o modelo ADDIE, desenvolvido pelo Centro para Tecnologia Educacional da Universidade da Flórida para o exército dos EUA (STRICKLAND, 2006). Torunarigha e William (2020) retratam que um “raio-X” da literatura sobre os vários modelos de design instrucional revelam que todos eles têm em comum o modelo ADDIE. O nome é um acrônimo formado pela inicial do nome de suas etapas: “Analysis” (análise), “Design” (projeto), “Development” (Desenvolvimento), “Implementation” (Implementação) e “Evaluation” (avaliação). Conforme a pesquisa bibliométrica previamente citada de Göksu et al. (2017), o modelo ADDIE é o que foi identificado com maior ocorrência, sendo considerado o modelo preferido. Também foi o modelo onde se encontrou o maior número de referências a melhorias nos indicadores indicados no Quadro 9. As fases do modelo ADDIE e suas inter-relações são indicadas na Figura 13.

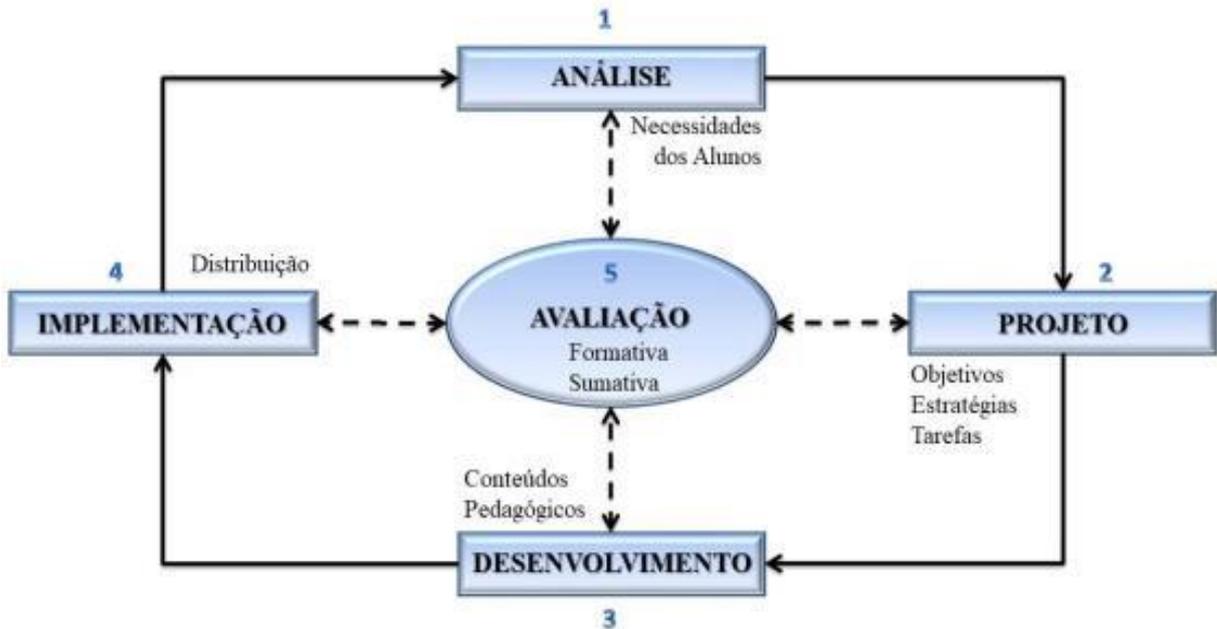
Quadro 9 - Modelos preferenciais de Design Instrucional e as variáveis de interesse

Modelo de <i>Design</i> Instrucional	Ano de Publicação	Variáveis de Interesse					
		Aprendizagem Individual	Aprendizagem Colaborativa	Pensamento Crítico	Eficiência do Aprendizado	Motivação	Resolução de problemas
ADDIE	1975		X	X	X	X	
ARCS	1975					X	
Dick and Carey	1978	X	X			X	
Gagne e Briggs	1979	X	X		X	X	
5E	1997					X	
4C-ID	2002						X
Morrison, Ross e Kemp	2004					X	

Fonte: adaptado de Göksu et al. (2017)

Outro modelo que consta da pesquisa de Gökstu et al. (2017) entre os preferidos é o de Morrison, Ross e Kemp. Ao contrário do que cita Gökstu et al. (2017), Morrison, Ross e Kemp já haviam desenvolvido seu modelo dez anos antes do que o indicado pelos autores, mesmo que em 2004 os mesmos autores tivessem gerado uma nova publicação sobre o assunto. De acordo com Lima (2017), o modelo de Kemp, Morrison e Ross teria sido originado do modelo inicial de Kemp, adicionando mais dois componentes, os serviços de apoio e planificação, além de proporem uma separação entre a avaliação formativa e a sumativa em diferentes níveis do modelo. A avaliação sumativa vem a ser aquela que visa avaliar a eficiência com que os objetivos pedagógicos foram atingidos pelos aprendizes (LIMA, 2017).

Figura 13 - Modelo ADDIE



Fonte: adaptado de Lima (2017)

Reis e Capitão (2003) estabeleceram uma relação entre o modelo ADDIE e o de Kemp, Morrison e Ross (1994), conforme pode ser visto no Quadro 10. Como pode ser observado, a principal diferença entre os modelos consiste apenas num maior detalhamento das duas fases iniciais.

Quadro 10 - Relação entre o Modelo ADDIE e o modelo de Kemp, Morrison e Ross

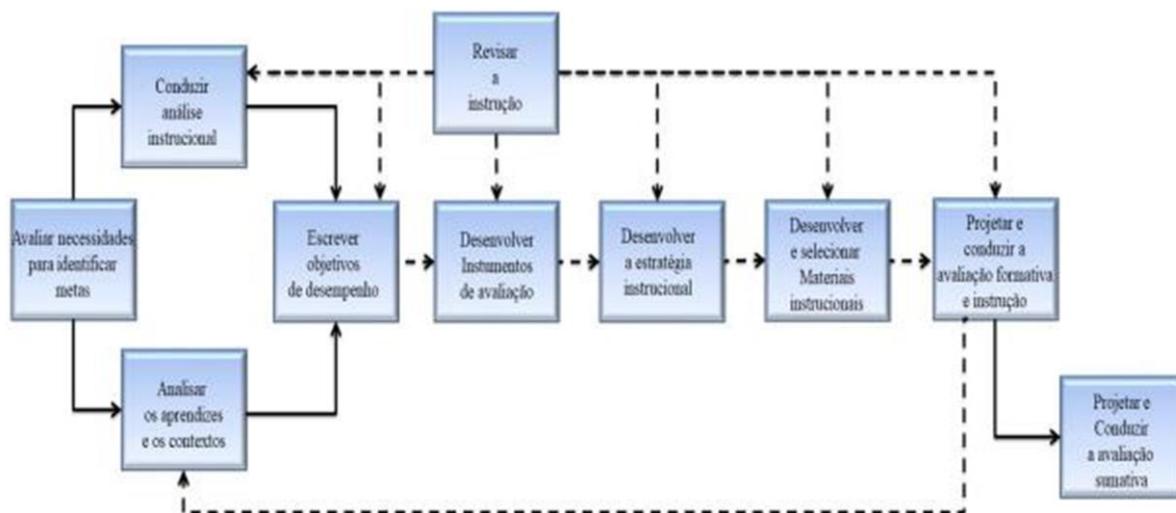
MODELO ADDIE	MODELO DE KEMP, MORRISON & ROSS (1994)
FASES	ELEMENTOS
Análise (<i>Analysis</i>)	1. Identificar as necessidades de instrução. 2. Examinar as características dos alunos. 3. Identificar as tarefas ou atividades de aprendizagem.
Desenho (<i>Design</i>)	4. Definir os objetivos de aprendizagem. 5. Planificar a sequência dos conteúdos. 6. Projetar as estratégias de instrução.
Desenvolvimento (<i>Development</i>)	7. Desenvolver a "mensagem instrucional".
Implementação (<i>Implementation</i>)	8. Arquitetar a distribuição dos recursos e conteúdos.
Avaliação (<i>Evaluation</i>)	9. Produzir instrumentos de avaliação.

Fonte: Reis e Capitão (2003)

Segundo Gustafson e Branch (2002) um dos modelos de DI mais influentes até hoje foi o de Dick e Carey, desenvolvido poucos anos depois do modelo ADDIE e segundo a pesquisa de Gökstu et al. (2017) é um dos cinco com maior ocorrência. Este modelo é ilustrado na Figura 14.

O último modelo de DI escolhido para fazer parte do referencial teórico é o 5E, tendo em vista que foi desenvolvido para o ensino de Ciências e por ajudar a colocar em prática a aprendizagem baseada na investigação. A aprendizagem através da investigação ocorre a partir de um conjunto de processos nos quais os estudantes fazem questionamentos e investigam fenômenos, adquirindo conhecimentos e desenvolvendo um entendimento das teorias, conceitos, princípios e modelos. O nome do modelo é devido ao fato dele possuir cinco fases com nome de vocábulos “E” em inglês: “Engage” (Engajar), “Explore” (explorar), “Explain” (Explicar), “Elaborate” (aprofundar) e “Evaluate” (avaliar). É considerado um paradigma pedagógico e foi originalmente desenvolvido pela BSCC (*“Biological Science Curriculum Study”*), uma organização norte-americana sem fins lucrativos voltada ao desenvolvimento de currículos na área de Ciências (BSCS, 2017).

Figura 14 - Modelo de Dick e Carey



Fonte: adaptado de Gustafson e Branch (2002)

Segundo Skamp e Peers (2012), os papéis do estudante e do professor ao utilizarem o modelo 5E contrastam bastante com os métodos mais convencionais de ensino de Ciências. Kirschner, Sweller e Clark (2010), defendem que não há evidências de que, o que chamam de

abordagens construtivistas minimamente guiadas, incluindo a aprendizagem baseada na investigação, sejam superiores à instrução guiada. A única ressalva dos autores é em relação aos estudantes que possuem um alto nível de conhecimento prévio, explicando que nestes casos a vantagem da instrução guiada passa a ser menor. Embora o paradigma 5E possua elementos que se assemelham ao PBL (*Problem Based Learning*, ou aprendizado baseado em problemas, também considerado um modelo de DI), a sua principal diferença, segundo Savery (2015), reside no papel do tutor. Enquanto na primeira abordagem o tutor atua tanto como facilitador do aprendizado ou um provedor de informação, no PBL o tutor não fornece informações relacionadas ao problema, sendo isso responsabilidade dos estudantes.

2.4 O PROGRAMA TWI

O programa TWI, conforme sugerem Sinocchi e Bernstein (2016), pode contribuir para a transferência dos conhecimentos e habilidades aos funcionários, na construção de boas relações entre os funcionários e na melhoria dos métodos de trabalho. Em relação a cada um desses três benefícios apontados pelos autores, a presente revisão do referencial teórico abordará apenas o primeiro, visto que os demais não estão contidos na delimitação da presente pesquisa.

Conforme abordado no Capítulo 1, percebe-se um retorno no interesse pelo TWI há pouco mais de dez anos, tendo sido resgatado como um dos elementos para implementação do *Lean Manufacturing System* (Sistema de Manufatura Enxuta). Essa retomada a partir de profissionais que atuam com o *Lean* está em consonância com as origens do TWI. Conforme esclarecem Dzubakova e Koptak (2015), o *Lean* teve sua origem no Sistema Toyota de Produção (STP). Porém esta relação entre TWI, *Lean* e STP não é muito direta, sendo conveniente um breve resgate histórico para melhor entender as origens do TWI e suas inter-relações com o *Lean* e o STP.

O TWI teve como base o método de treinamento desenvolvido por Charles Allen, o qual ficou conhecido como “Os Quatro Passos de Allen”. Segundo Neumann (1979), Allen teria trabalhado por três anos como um agente especial para a educação vocacional no estado de Massachusetts, antes de aplicar seu método na indústria naval norte-americana durante a Primeira Guerra Mundial. O desafio de transformar milhares de pessoas inexperientes em funcionários qualificados em pouco tempo, teriam servido como uma oportunidade para refinar as suas ideias educacionais. Em 1919, logo após a guerra, ele publicou o livro “The

Instructor, the Man and the Job”, tornando-se, segundo Neumann (1979), um clássico na área de capacitação de pessoas.

Os quatro passos sugeridos por Allen (1919) eram chamados de Preparação, Apresentação, Aplicação e Teste. O primeiro passo, a Preparação, visa sensibilizar o aluno para o aprendizado, através de uma experiência concreta (HUTZINGER, 2005). No caso do aluno não possuir uma experiência anterior na área de aprendizado, caberia ao instrutor buscar metáforas ou analogias para que o aluno faça relações com o conteúdo a ser desenvolvido. Essa estratégia de ensino veio a ser desenvolvida apenas algumas décadas mais por David Ausubel, através do conceito de subsunção, explicado anteriormente no item 2.2.2 da presente tese.

No segundo passo de Allen, chamado de Apresentação, a ideia básica é desenvolver o conteúdo, através de método apropriado ao assunto, buscando a assimilação pelos alunos. Segundo Hutzinger (2005), o treinamento era estruturado em partes integradas, formando um todo, partindo da premissa de que quanto menor o número de informações em cada sessão de treinamento, maior é a capacidade de assimilação pelo aluno. Ao instrutor era exigida a capacidade de seleção do método apropriado para cada assunto, organização dos temas a serem trabalhados e a escolha dos pontos mais importantes para que fosse dada a devida ênfase.

No passo seguinte, chamado de Aplicação, reside o objetivo central do método, que vem a ser a “aprender a fazer”, ou seja, colocar em prática o conteúdo previamente apresentado pelo instrutor. Segundo Hutzinger (2005), Allen destacava que, não importa quão bem desempenhada seja feita a lição, é natural ocorrer erros, sendo que estes precisam ser identificados e corrigidos para que não venham a comprometer futuramente o desempenho durante o trabalho. Segundo Mueller (2013), o objetivo do terceiro passo é verificar se os alunos cometem erros.

O objetivo do quarto e último passo, o chamado Teste, segundo Mueller (2013) é fazer a inspeção final na Instrução de Trabalho, ou conforme esclarece Hutzinger (2007), trata-se do aluno desempenhar suas funções sem auxílio dentro do local de trabalho, mas com supervisão do instrutor. Em outras palavras, significa a avaliação empírica do aprendizado, além da avaliação da habilidade de ensino de cada instrutor. De acordo com Neumann (1979), Allen rejeitava o método de ensino mais tradicional em que o aluno poderia avançar para o próximo bloco de conteúdo sem ter total proficiência do conteúdo atual.

Ao comparar os quatro passos de Allen, com o elemento *Job Instruction* do TWI, percebe-se que possuem exatamente o mesmo conteúdo. Estendendo a comparação com o conhecido ciclo de melhorias PDCA, algumas semelhanças ficam evidentes, conforme pode ser visto no Quadro 11.

Quadro 11 - Relação entre os Quatro Passos de Allen, o *Job Instruction* do TWI e o PDCA

.Os Quatro Passos de Allen	<i>Job Instruction</i> do TWI	Ciclo de Melhorias PDCA
Preparação	Preparar o funcionário	Planejar (“Plan”)
Apresentação	Apresentar a operação	Executar (“Do”)
Aplicação	Praticar	Verificar (“Check”)
Teste	Acompanhamento	Agir (“Act”)

Fonte: elaborado pelo autor

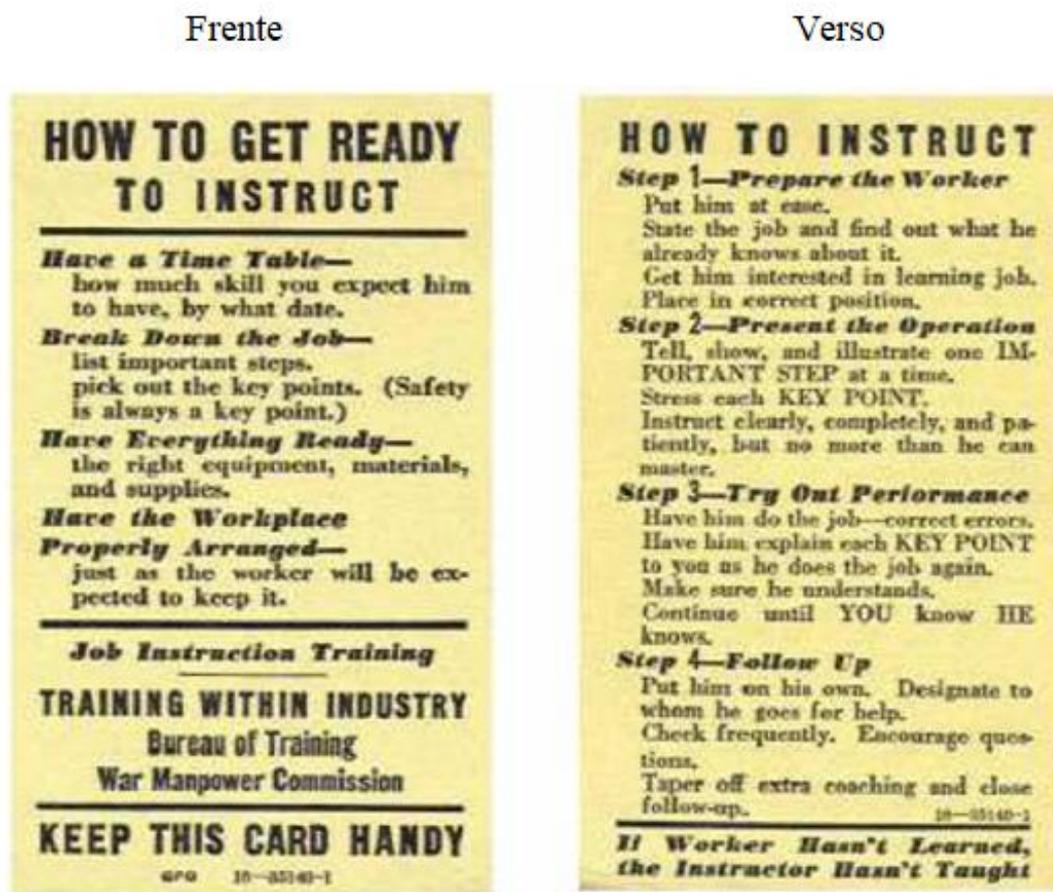
Segundo Plunkett, Allen e Attner (2012), uma das razões para o sucesso da indústria dos EUA teria sido a implementação do programa TWI. Conforme Hutzinger (2005, p.4), “[..] o *Training Within Industry* (TWI) foi iniciado em 1940 durante a Segunda Guerra Mundial com o intuito de aumentar a produção para suprir as necessidades do esforço de guerra das Forças Aliadas”. O TWI teria sido lançado pela *National Defense Advisory Commission* (NDAC) e mais tarde transferido para *Federal Security Agency* (FSA), como parte da nova *War Manpower Commission* (WMC) em 1942. De acordo com Mueller (2013), o TWI foi se desenvolvendo em uma rede nacional liderada por profissionais da indústria visando ensinar técnicas de produção às empresas fabricantes de insumos de guerra. Segundo o autor, nesta rede havia empresários voluntários que cediam suas companhias, tendo em vista a necessidade de que o treinamento fosse realizado “dentro da indústria” de forma que as ações realizadas pelo TWI fossem concretizadas e legitimadas.

O elemento central do TWI era chamado de Instrução de trabalho (*Job Instruction*). Consistia de cinco sessões com duas horas de duração cada uma, sendo que nas duas primeiras o método de instrução era apresentado e discutido e nas três últimas eram dedicadas para a prática. Segundo Bryan (2008), as instruções de trabalho eram desenvolvidas por especialistas em métodos, que definiam algumas regras básicas de como utilizar as ferramentas de forma a maximizar a produtividade. Hutzinger (2007) destaca a distribuição

de cartões de instrução de trabalho para todos os participantes, conforme exemplo da Figura 15, onde eram colocados no verso os quatro passos para instrução.

Mueller (2013) ressalta que a eficácia do TWI foi evidenciada na publicação “*Training Within Industry Report: 1940-1945*”, onde foi reportado que o número de funcionários das fábricas participantes envolvidos em sessões de treinamento de duas horas para cada programa foi considerável. Conforme ilustra Hutzinger (2007), o TWI contabilizou durante a guerra o treinamento de 1.750.650 funcionários em 16.511 organizações. Considerando o elevado volume de treinamentos executados em relativo curto espaço de tempo, pode-se supor que o programa em si passou por alguns ciclos de melhoria a partir de resultados empíricos. Neste sentido, como revela Dooley (2001), em 1944 foi identificada a necessidade de melhorias adicionais no uso do método, quando foi dada uma grande ênfase em como resolver um problema de produção através do treinamento.

Figura 15 - Exemplo de cartão de instrução de trabalho do TWI



Fonte: Hutzinger (2005)

Conforme conclui Neumann (1979), as experiências das duas grandes guerras mundiais deixaram marcas indeléveis nos programas de capacitação baseados em competências, assim como na educação dos EUA em geral. O autor complementa que a tendência da incorporação de instrumentos de avaliação de desempenho e o “Mastery Learning” podem ser vistos como resultado de experiências educacionais dos tempos de guerra. As circunstâncias na época da guerra não permitiam um aprendizado parcial, além de demandar que os alunos aprendessem rapidamente e completamente as tarefas. Neumann (1979) justifica essas demandas, ao exemplificar que a parte final de um treinamento na época do TWI poderia ser um voo solo, o reparo de uma unidade de radar ou preparar o café da manhã para quinhentos soldados.

Com o término da Segunda Guerra Mundial e a derrota do Japão, de acordo com Mueller (2013), o bloco hegemônico internacional de países, capitaneado pelos Estados Unidos, buscou apaziguar a inquietação civil e, definitivamente, eliminar da planta industrial japonesa quaisquer indícios de elementos do partido comunista e suas lideranças. Neste contexto, durante uma conferência da Organização Internacional do Trabalho (OIT), teria sido recomendada a adoção do TWI em países em reconstrução da Europa e Japão (SHIROMA, 1993). Segundo Mueller (2013), um grupo de instrutores da empresa TWI Inc. dos EUA teria sido requisitado para treinar instrutores no Japão, que ficaram com a incumbência de multiplicar o treinamento nas empresas japonesas. Uma das empresas treinadas foi justamente a Toyota Motors, que acabou criando o TTWI (“Toyota Training Within Industry”), o qual segundo Mueller (2013), serviu de evidência empírica que o programa TWI norte-americano serviu de matriz teórico-prática para o desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção (STP).

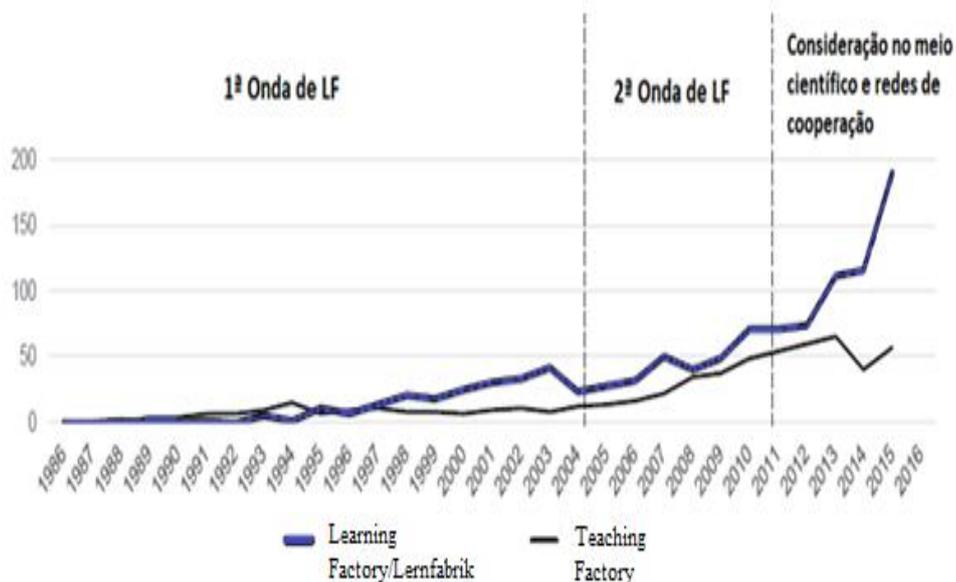
Conforme defendia Neumann (1979), há de se reconhecer que os programas de treinamento militares, como o TWI, tiveram grande influência em muitos programas educacionais mais recentes. Delors (2003) exemplifica que o princípio do “aprender a fazer”, difundido amplamente na década de 1990, teve suas raízes nos Quatro Passos de Allen. Por outro lado, identifica-se facilmente o caráter comportamentalista do programa TWI, o que é coerente com a época em que foi desenvolvido. Neste sentido, conforme Neumann (1979), ao referir-se a programas como o TWI explicitava: “Nem todos os educadores aderem à abordagem comportamentalista funcionalista. Há educadores, incluindo alguns envolvidos no desenvolvimento de programas educacionais baseados em competências, que rejeitam esta visão de educação atomizada, altamente particularizada.”.

Tais críticas a programas de natureza comportamentalista parecem ter permeado as instituições educacionais até hoje. No entanto, vários pesquisadores, como o próprio Neumann (1979), reconhecem que os programas baseados em competências podem ser ecléticos, a ponto de incorporar práticas e programas de distintas categorias, como “Mastery Learning”, aspectos comportamentalistas, “self-paced learning” e aprendizado pela experiência. De qualquer forma, conforme ressalta o autor, estes programas tendem a ter uma ou mais orientações teóricas ou abordagens filosóficas, tendo por um lado uma visão mais comportamentalista e funcional e por outro uma visão mais humanista e holística.

2.5 O PARADIGMA “LEARNING FACTORY”

De acordo com Tisch e Metternich (2017), o conceito de *Learning Factory* (LF) teria sido descrito pela primeira vez em 1995 num trabalho da *Penn State University* dos EUA relacionado à formação na área de Engenharia. Os mesmos autores ilustram o crescimento no interesse pelo tema através do gráfico da Figura 16, onde são mostradas as ocorrências por ano identificada em busca no website “google acadêmico” por ano, utilizando as palavras-chave “learning factory”, “lernfabrik” (“learning factory” em alemão) e “teaching factory”. O período foi separado em três fases, a partir do interesse pelo tema, sendo a chamada primeira onda finalizada por volta de 2005 e o último período no qual o assunto passou a ter maior interesse no meio acadêmico e por redes de cooperação voltadas à pesquisa.

Figura 16 - Ocorrência dos termos *Learning Factory* e similares



Fonte: adaptado de Tisch e Metternich (2017)

Lanza et al. (2015), em consonância com os dados da Figura 16, reportou que na década anterior à publicação de sua pesquisa, ou seja, desde 2005, várias LF foram implementadas. Os autores acrescentam que as LF não estão restritas a países como EUA e Alemanha, mas podem ser encontradas em todos os países industrializados. O interesse pelo tema se deve a tendência existente em relação a ambientes de aprendizado inovadores e orientados à prática (LANZA et al., 2015). Já Kreinmeier (2014) acrescenta que esta abordagem tem muito potencial, uma vez que não apenas conhecimento inerte é ensinado, mas também habilidades são desenvolvidas que qualificam as pessoas para a resolução de problemas.

Uma definição atual para LF, segundo Tisch et al. (2015) é a seguinte: “uma réplica idealizada de partes da cadeia de valor da indústria, onde ocorre o aprendizado informal, não formal e formal”. Segundo Lanza et al (2015), além de no ambiente acadêmico, é possível encontrar as LF em instituições de pesquisa, consultorias e empresas industriais. Um exemplo de LF é descrito e ilustrado por Hadlock et al. (2008). Neste exemplo, é descrita a LF da Universidade de Washington (UW), que se trata de um laboratório semi-independente operacionalizado desde 1994 pelos departamentos de Engenharia Industrial e Engenharia Mecânica. Algumas instalações desta LF são ilustradas na Figura 17.

Figura 17 - *Learning Factory* da Universidade de Washington

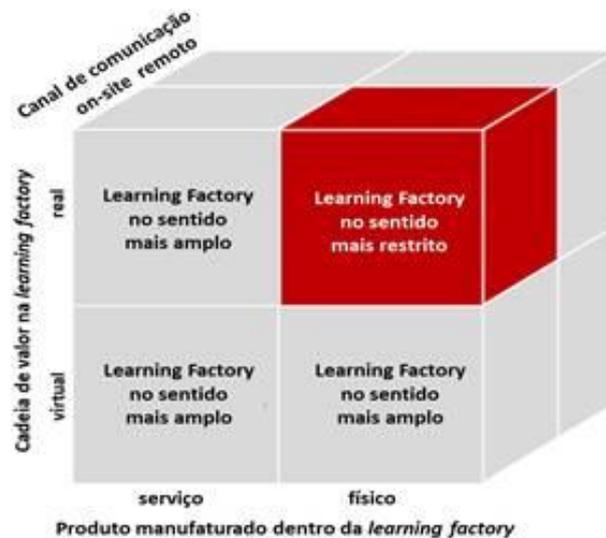


Fonte: Hadlock et al. (2008)

A renomada organização global CIRP, que atua na área de Engenharia de Produção, montou um grupo de trabalho colaborativo sobre LF (ABELE et al., 2015). De acordo com Enke, Tisch e Metternich (2016), este grupo buscou estabelecer um entendimento comum e uma descrição sobre sistemas de LF. Segundo os autores, de uma maneira geral as LF podem ser classificadas como sendo de sentido mais amplo ou de sentido mais restrito. No sentido mais restrito elas fabricam produtos físicos, possuem uma cadeia de valor real e o aprendizado ocorre no local de uma fábrica existente. Já num sentido mais amplo, o conceito é estendido

para serviços, uma cadeia de valor virtual ou uma abordagem de aprendizado remoto, conforme pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - *Learning Factory* no sentido mais amplo e mais restrito



Fonte: Enke, Tisch e Metternich (2016)

Um exemplo da utilização do conceito de LF num sentido mais amplo pode ser visto no trabalho de Pittschellis (2015), ao apresentar uma fábrica virtual utilizada para a capacitação para a indústria 4.0, conforme Figura 19. Mais detalhes a respeito desta aplicação podem ser vistos no item 2.7, que trata de pesquisas relacionadas à presente tese.

Figura 19 - Fábrica Virtual para Capacitação



Fonte: Pittschellis (2015)

Do ponto de vista da teoria de ensino e aprendizagem, Pittschellis (2015) esclarece que todas as LF possuem em comum uma abordagem construtivista. Tisch e Matternich (2017) destacam também os aspectos de aprendizagem ativa e PBL que as LF têm o potencial de proporcionar, além de outros aspectos metodológicos, conforme pode ser visto no Quadro 12.

Quadro 12 - Aspectos metodológicos e as possibilidades em LF

Aspectos Metodológicos	Potencial das LF em viabilizar os Aspectos Metodológicos
Contextualização, contexto situado	O modelo parcial de uma fábrica real possibilita um rico contexto de
Ativação do aprendiz	Geração e aplicação do conhecimento na LF
Resolução de problemas	Resolução de situações-problema reais na LF
Motivação	Motivação pelo personagem real e a possibilidade de “colocar a mão na massa” imediatamente
Coletivismo	Aprendizado auto-organizado em grupos é um modelo viável em LF
Pensamento e execução integrados	Alternância de fases de prática e fases de sistematização
Auto-regulação e auto-direção	Processos de aprendizado externos e auto-controlados são ativados, dependendo dos pré-requisitos

Fonte: adaptado de Tisch e Metternich (2017)

Müller-Frommeyer et al. (2017) compilaram algumas pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de competências através de LF (*Learning Factories*). Os tipos de competências identificados pelos autores a partir de quinze pesquisas entre 2010 e 2015 foram: conhecimento profissional, gestão de projetos, capacidade de reflexão, adaptabilidade, capacidade de trabalhar em times, habilidades de comunicação, capacidade de resolução de problemas, criatividade, motivação, responsabilidade social, pensamento sistêmico, ação resultada a resultados, inovação e tomada de decisão. Tais competências foram sintetizadas conforme o Quadro 13.

Quadro 13 - Competências Desenvolvidas em *Learning Factories*

.Competência	Referências	
Competências Profissionais e Metodológicas	Conhecimento Profissional	Abele et al. (2010), Blume et al. (2015), Goerke et al. (2015), Kreimeier et.al (2014)
	Gestão de projetos	Tisch et al. (2013)
	Capacidade de reflexão	Blume et al. (2015)
Competências Sócio-comunicativas	Adaptabilidade	Wagner et al. (2012)
	Capacidade de trabalho em times	Blume et al. (2015), Goerke et al. (2015), Tietze et al. (2013), Wagner et al. (2012)
	Habilidades de comunicação	Blume et al. (2015), Tietze et al. (2013), Veza

	Capacidade de resolução de problemas	Blume et al. (2015), Chachay e Abele (2012), Micheu e Kleindiest (2014), Tietze et al.
Competências Pessoais	Criatividade	Abele et al. (2010), Blume et al. (2015)
	Motivação	Tisch et al. (2015)
	Responsabilidade pessoal	Blume et al. (2015), Tietze et al. (2013), Tisch et al. (2015), Tisch et al. (2013)
	Capacidade de pensamento sistêmico	Blume et al. (2015), Goerke et al. (2015), Kreimeier et.al (2014), Tietze et al. (2013)
	Ação orientada à ação	Blume et al. (2015), Micheu e Kleindiest (2014)
	Capacidade de inovação	Blume et al. (2015)
	Tomada de decisão	Blume et al. (2015), Goerke et al. (2015)

Fonte: adaptado de Müller-Frommeyer et al. (2017)

Tisch e Matternich (2017) relacionaram algumas limitações na implementação de LF. As limitações, segundo os autores, residem na extensão de recursos necessários, na habilidade de mapeamento, na escalabilidade, na mobilidade e na eficácia em si das LF. Neste sentido, Trucco e Morell (2012) compilaram um conjunto de lições aprendidas quanto à adaptação das LF no currículo de formação em Engenharia, listadas a seguir:

- planejamento estratégico e liderança: a visão, missão e estratégias da liderança devem ser claramente estabelecidos em um plano para operacionalizar a implementação de LF e a partir de indicadores avaliar se as metas e objetivos estão sendo atingidos;
- parceria com a indústria: a indústria precisa se envolver em todas as fases do processo educacional;
- aprendizado ativo: um ambiente adequado motiva os estudantes a aprenderem por conta própria;
- ambiente apropriado para o estímulo ao aprendizado: as instalações precisam ser seguras, multidisciplinares, bem equipadas, de propósito geral e causar boa impressão visual;

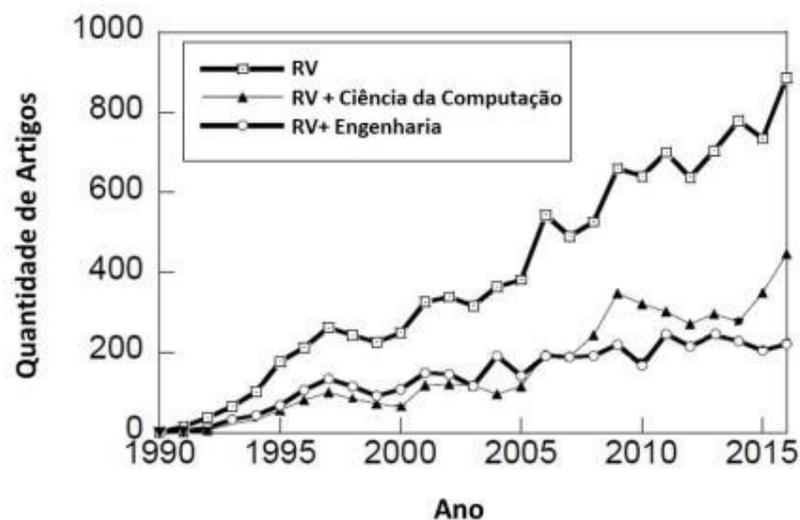
- suporte e recursos: a melhoria contínua da educação em Engenharia depende de um apoio dos administradores acadêmicos, parceiros industriais e organizações nacionais proeminentes.

2.6 TECNOLOGIAS DE REALIDADE VIRTUAL APLICADAS À EDUCAÇÃO

Conceitualmente, a realidade virtual é um campo de estudo que busca criar um sistema que possibilita uma experiência sintética para os seus usuários (KIM, 2005). Tori, Kirner e Siscouto (2006) alertam que existem muitas definições de realidade virtual e os mesmos propõem uma definição mais completa. Segundo os autores, a realidade virtual é uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário a movimentação e interação em tempo real, em um ambiente tridimensional.

As tecnologias de Realidade Virtual (RV) têm sido utilizadas em várias aplicações distintas. Numa pesquisa bibliométrica usando, Vergara, Rubio e Lorenzo (2018) identificaram uma tendência significativa de aumento de artigos publicados na base de dados *Scopus* desde 1990 até 2017 tendo RV como foco de pesquisa, conforme Figura 20. Os dados também indicaram um claro aumento na publicação de artigos que associaram RV às Ciências da Computação e Engenharia.

Figura 20 - Publicações sobre Realidade Virtual



Fonte: adaptado de Vergara, Rubio e Lorenzo (2018)

No que se tem chamado de realidade aumentada, Herpich, Guarese e Tarouco (2017) a definem como sendo a integração de recursos virtuais com elementos físicos do mundo real, nos quais componentes gráficos gerados computacionalmente são apresentados em dispositivos tecnológicos aos usuários, juntamente com elementos do ambiente real. Silva,

Oliveira e Giraldi (2003), ao explicarem o que é realidade aumentada, apresentam o conceito de tele presença, explicando que o propósito fundamental da tele presença é expandir as possibilidades sensoriais-motoras e de resolução de problemas de operadores num ambiente remoto real. Segundo os mesmos autores, a realidade aumentada pode ser considerada uma tecnologia intermediária entre a realidade virtual e a tele presença.

Na indústria, as tecnologias de realidade virtual têm despertado bastante interesse, conforme relatam Liagkou, Salmas e Stylios (2019). Segundo estes autores, a realidade virtual pode ser utilizada na Indústria 4.0 para aperfeiçoar as capacidades e incluir novas disciplinas como ensinar os funcionários sobre campos da IoT e outros temas proeminentes. Lopik et al. (2020) corroboram ao enfatizarem que a realidade virtual tem sido proposta como uma tecnologia disruptiva e habilitadora no paradigma da Indústria 4.0.

Em relação à utilização de RV para capacitação de pessoal, Mantovani e Martins (2011) indicam que as tecnologias de realidade virtual têm o potencial de proporcionar ambientes instigantes e facilitadores, os quais ajudam a viabilizar a busca pelo conhecimento e a reflexão crítica, além da aprendizagem sucessiva e independente. A utilização de tecnologias de realidade virtual na educação surge também como viabilizadores dos fatores identificados por Bloom (1956) como sendo os mais significativos para alcançar desempenhos superiores.

Kaplan et al. (2020) conduziram uma meta-análise a partir da publicação de vinte e cinco estudos sobre treinamentos utilizando realidade virtual e realidade aumentada (além de realidade misturada), buscando determinar se o treinamento com tais tecnologias, o que os autores resumiram como XR (*extended reality*, ou realidade estendida), são tão eficazes quanto os métodos de treinamento tradicionais. Os autores justificaram tal pesquisa ao afirmar que embora seja apontado que tais tecnologias usualmente podem ser mecanismos de redução de tempo e custos de treinamento, sua eficácia como ferramentas de treinamento têm sido debatidas. Os autores concluíram que pelo fato de não terem sido identificadas diferenças significativas entre a eficácia dos treinamentos com XR e os tradicionais, há um futuro brilhante considerando os vários benefícios de tais tecnologias para a capacitação de pessoal.

Figura 21 - Classificação de Recursos de RV



Fonte: adaptado de Vergara, Rubio e Lorenzo (2018)

Vergara, Rubio e Lorenzo (2018) apresentaram uma classificação para os recursos de RV de acordo com o tipo de visualização e os dispositivos de interação. A classificação proposta é ilustrada na Figura 21. Os autores classificaram os recursos de RV em duas categorias: pelo tipo de visualização e pelos dispositivos de interação. Ambas culminam na classificação entre o grupo de soluções não imersivas e imersivas. As não imersivas contemplam desde computadores convencionais de apenas 1 tela até dispositivos específicos, como simuladores para treinamento. Já as soluções imersivas envolvem tipicamente a utilização de HMD (*Head-mounted Display*), mas em alguns casos são utilizadas as chamadas cavernas visuais (“virtual caves”).

As tecnologias a serem empregadas para a RV em linhas gerais também podem ser divididas entre elementos de *software* e *hardware*, cada uma delas detalhada nos subitens a seguir.

2.6.1 Tecnologias de *Software* para Realidade Virtual

As tecnologias de *software* para RV podem ser definidas como aplicações computacionais executadas em um ambiente gráfico tridimensional que proporciona aos usuários certo nível de realismo imersão da simulação, além da interação com os elementos digitais que representam os objetos virtualizados. Grajewski, Górski e Pandilov (2019) classificam em dois tipos gerais as aplicações de RV: aplicações orientadas a objetos

individuais (usualmente o modelo virtual de produtos específicos) e o ambiente (cenário virtual). No escopo das aplicações a serem desenvolvidas pelo método proposto nesta tese, as orientadas a objetos individuais são aquelas que visam simular elementos do sistema produtivo (ex: robôs, sistemas de transporte, máquinas de produção, dispositivos), enquanto o ambiente trata-se da fábrica em si e laboratórios virtuais que podem ser utilizados para algumas atividades instrucionais.

Liagkou, Salmas e Stylios (2019) citam as soluções gerais para o software de desenvolvimento das aplicações em RV:

- a) plataformas de Mundo Virtual, como *Second Life* e *OpenSimulator*: aplicações consideradas simples de instalar e manter;
- b) motores de jogos (*game engines*) como *Unity 3D* e *Unreal Engine*: utilizadas para desenvolvimento de aplicações em RV;
- c) softwares para aprimoramento gráfico, como *Blender* e *3DS Max*: ajudam a prover maior realismo nos modelos gráficos 3D e maior nível de imersão.

As plataformas de Mundo Virtual são detalhadas no item 2.5.3, enquanto os motores de jogos são descritos a seguir. Conforme explicam Christopoulou e Xinogalos (2017). Os motores de jogos surgiram como uma alternativa ao desenvolvimento de softwares utilizando apenas linguagens de programação como C++, C# ou Java, visto que a utilização de tais linguagens requer habilidades mais avançadas. Os mesmos pesquisadores fizeram um comparativo extenso entre os principais motores de jogos existentes no mercado para o desenvolvimento de aplicações imersivas e não imersivas, utilizando os seguintes parâmetros: fidelidade audiovisual (renderização, animação, som, gráficos 3D e editor de cenas), fidelidade funcional (programação, inteligência artificial, física de movimentos), “composibilidade” (importação e exportação de conteúdo), ferramentas de desenvolvimento (SDKs), acessibilidade (usabilidade e preço), comunicação em rede (usuário para usuário, cliente para servidor e múltiplos usuários), características de desenvolvimento (sistemas operacionais, APIs gráficos) e plataformas de aplicação (smartphones, desktops e consoles). O Quadro 14 apresenta um resumo comparativo realizado a partir da análise de Christopoulou e Xinogalos (2017). Tal análise incluiu uma avaliação empírica dos dois motores de jogos mais utilizados atualmente (*Unity 3D* e *Unreal Engine*).

Quadro 14 - Comparativo entre Motores de Jogos

Motor de Jogos	Pontos Negativos	Pontos Positivos
Game Maker	- Não adequado para gráficos 3D	- Ideal para desenvolver aplicações 2D facilmente
JMonkey	- Deficiências quanto á fidelidade audiovisual	- <i>Open Source</i> , permitindo aos usuários expandir suas funcionalidades
Marmalade	- Pequenas deficiências em vários critérios comparativos	- Permite exportar para a maioria de plataformas de jogos
Ogre3D	- Pequenas deficiências em vários critérios comparativos	- Open Source, permitindo aos usuários expandir suas funcionalidades - Adequado a principiantes
Shiva	- Não é gratuito - Não adequado para principiantes	- Boa fidelidade audiovisual
Sio2	- Atualmente não é gratuito - Adequado apenas para aplicações em iOS	- Adequado para iOS
Turbulenz	- Pequenas deficiências em vários critérios comparativos	- Open Source, permitindo aos usuários expandir suas funcionalidades
Unity 3D	- Fidelidade visual boa, mas não tanto quanto o Unreal Engine 4	- Adequado na maioria dos critérios comparativos - Não requer hardware de alto desempenho.
Unreal Engine 4	- Requer programadores mais experientes - Requer hardware de alto desempenho.	- Adequado na maioria dos critérios comparativos - Melhor fidelidade audiovisual do que o Unity 3D

Fonte: adaptado de Christopoulou e Xinogalos (2017)

Adicionalmente às tecnologias de software até aqui mencionadas, há várias outras que vêm sendo utilizadas para a simulação, e mais especificamente, simulação de processos produtivos. Uma das soluções mais difundidas é o *Flexsim*. O *Flexsim* é um ambiente de software orientado a objetos utilizado para desenvolver, modelar, simular, visualizar e monitorar atividades de processos e sistemas (NORDGREN, 2003). Luściński e Ivanov (2020), por exemplo, simularam um modelo genérico de manufatura utilizando conceitos da Indústria 4.0 a partir do software *Flexsim*. Este mesmo *software* tem oferecido a possibilidade de integração com óculos de realidade virtual para uma maior imersão. No entanto, tais *softwares* de simulação não foram considerados no escopo do método, pois embora possam ser utilizados com a finalidade de desenvolvimento de competências, sua utilização para este fim fica restrito para pessoal de nível de Engenharia.

2.6.2 Tecnologias de *Hardware* para Realidade Virtual

Além do *software*, há vários elementos de *hardware* que devem ser considerados na escolha do sistema de RV a ser utilizado para o desenvolvimento de competências, considerando aspectos de imersão e interação, além do custo. Hamid, Aziz e Azizi (2014) relataram existir certa dificuldade em categorizar sistemas de RV, mesmo assim apresentaram uma classificação geral conforme o Quadro 15.

Quadro 15 - *Hardware* por Classe de RV

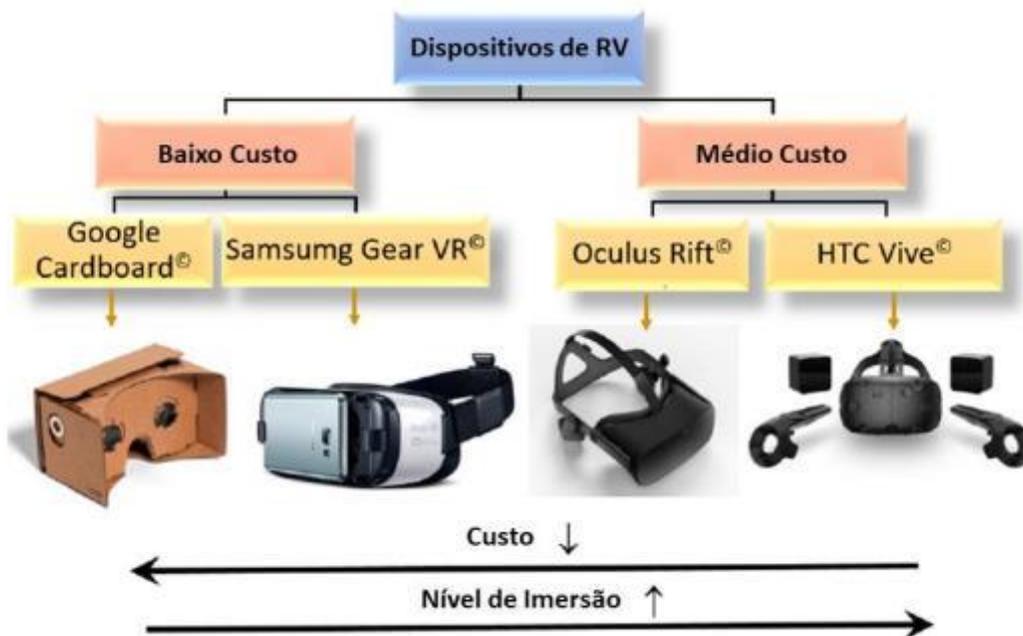
Característica	Classes de RV		
	RV Não-Imersiva	RV Semi-imersiva	RV Imersiva
Dispositivos de Entrada	<i>Mouse, Teclado, Joystick e trackball</i>	<i>Joystick, space ball e luvas de dados</i>	Luvas de dados e comandos de voz
Dispositivos de Saída	Monitor padrão de alta resolução	Monitores de grandes dimensões e sistemas de projeção	<i>Head-mounted display (HMD) e Caverna (Cave)</i>
Resolução da Imagem	Baixa-Média	Alta	Alta
Imersão	Nenhuma a Baixa	Média a Alta	Alta
Interação	Baixa	Média	Alta
Custo	Custo mas baixo para sistemas de RV	Elevado	Muito Elevado

Fonte: adaptado de Hamid, Aziz e Azizi (2014)

Em relação aos dispositivos de saída, Vergara, Rubio e Lorenzo (2017) apresentam uma classificação e exemplos para os HMDs (*Head-Mounted Displays*), conforme a Figura 22. Uma comparação entre o que os autores apontam quanto ao custo em relação ao apresentado no Quadro 15 chama a atenção para algumas diferenças. Enquanto Hamid, Aziz e Azizi (2014) colocam os HMDs na classe de custo “muito elevado”, Vergara, Rubio e Lorenzo (2017) apresentam soluções de baixo e médio custo. Embora a diferença entre datas em que as duas pesquisas foram publicadas é relativamente baixa (4 anos), foi justamente neste período que surgiram soluções de mais baixo custo para HMD (ambos o HTC Vive quanto o *Oculus Rift* foram lançados em 2016). Mais recentemente, a Samsung lançou uma solução de custo intermediário, o Samsung Odyssey VR HMD, que roda no sistema Operacional Windows (MIRZAEI, KÁN E KAUFMANN, 2020). Cabe mencionar que as

soluções de baixo custo apresentadas são exclusivas para sistemas operacionais iOS (*Google Cardboard*) e Android (*Google Cardboard* e *Samsung Gear VR*).

Figura 22 - Dispositivos de Saída de RV



Fonte: adaptado de Vergara, Rubio e Lorenzo (2017)

2.6.3 Mundos Virtuais

Um Mundo Virtual (MV), também chamado de metaverso, é caracterizado pelo uso de ambientes de realidade virtual usualmente não imersivos, navegáveis em 3D, onde seus usuários são representados através de personagens, denominados avatares, os quais interagem nesses ambientes. Schlemmer e Backes (2008) acrescentam que um MV é modelado através de técnicas de computação gráfica e é utilizado para representar o elemento visual de um sistema de realidade virtual. Stone (2009) complementa que os MVs oferecem aos aprendizes ambientes experimentais de aprendizado com a oportunidade de replicação de experimentos. Segundo o mesmo autor, os MVs *Second Life* e *Active Worlds* permitem que os usuários criem e construam uma realidade virtual e engajem-se em atividades síncronas de aprendizado.

Uma das características relevantes dos Mundos Virtuais é a imersividade, como ressaltam Ávila, Amaral e Tarouco (2013) ao mencionarem que “ambientes imersivos, cada vez mais explorados no campo das tecnologias para entretenimento, vêm também conquistando espaço no âmbito educacional”. Neste sentido, Greis e Reategui (2010)

defendem que um MV pressupõe, além da interação e navegação, características de imersão, viabilizando as seguintes possibilidades:

- compartilhamento de espaços virtuais entre vários usuários;
- imediaticidade, tornando possível a interação em tempo real;
- interatividade, permitindo a ocorrência de interações entre objetos e usuários;
- socialização e colaboração, oportunizando a formação de comunidades virtuais.

Do ponto de vista de teoria de ensino e aprendizagem, Stone (2009) enfatiza que as plataformas de MV endereçam os elementos-chave dos princípios construtivistas de “autenticidade cognitiva”, que vem a ser a experimentação e o engajamento, além do princípio de “autenticidade contextual”, que é a execução de tarefas relacionadas ao mundo real. Palomäki (2009) corrobora sugerindo que pelo fato dos aprendizes utilizarem MV para interagir com as informações em primeira pessoa, através de avatares, são facilitadas as atividades de aprendizagem baseadas no construtivismo.

O AVATAR (Ambiente Virtual de Aprendizagem e Trabalho Acadêmico Remoto) da UFRGS, grupo de pesquisas do qual o presente autor pertence, tem utilizado MV para o desenvolvimento de aplicações educacionais. Um dos MVs desenvolvidos pelo grupo é citado por Herpich et al. (2017) e ilustrado na Figura 23. O aluno é representado por um avatar, o qual pode interagir com experimentos de Física e observar os resultados, como se estivesse em um laboratório real. Tal tipo de aplicação é denominado laboratório virtual.

Duncan, Fabola e Miller (2016), a partir da análise do estado atual de desenvolvimento de mundos virtuais imersivos para fins educacionais, compilaram uma lista de características propostas para a próxima geração de MVs, muitas das quais se encontram ainda em fase de desenvolvimento inicial, ressaltando:

- a) processamento de linguagem natural, para que os avatares sejam mais realistas;
- b) *scripts* (programações), objetos, informações e metas dos alunos adaptativos, de forma a dar credibilidade e senso de realismo ao ambiente;
- c) metas modificáveis dependendo do nível de conhecimento prévio do aluno e suas competências;
- d) mecanismos mais fáceis para a criação de objetos e avatares;
- e) uso de inteligência artificial para criar interações adaptativas com avatares *online*.

Figura 23 - Exemplo de Mundo Virtual aplicado à Educação



Fonte: Rossi Filho et al. (2017)

Por outro lado, Morgado et al. (2016) chamam atenção para o fato de não terem identificado na literatura uma lista de requisitos para MVs para fins de capacitação corporativa. Para fechar essa lacuna, os autores propõem uma lista de 39 requisitos e 54 sub-requisitos sob uma perspectiva de engenharia de software. Dentre estes requisitos consta a necessidade de privacidade durante as sessões de capacitação, a possibilidade de gravação dos eventos, suporte para o desenvolvimento de conteúdo, métodos para acompanhamento da adoção da ferramenta pelos usuários, etc.

Uma das plataformas de MV mais difundidas tem sido a *OpenSimulator*, também conhecida por *OpenSim*. Ela foi construída para simular espaços tridimensionais virtuais de multiusuários, onde os usuários podem criar e modificar objetos, e através de *scripts*, definir as interações e comportamentos deles (FISHWICK, 2009). Os *scripts* associados a objetos podem ser nas linguagens LSL (*Linden Script Language*) ou OSSL (*Open Simulator Script Language*). O *OpenSim* funciona nos sistemas operacionais Windows e Linux e suporta bancos de dados MySQL e MSSQL (ALLISON E MILLER, 2012). Vicente et al. (2019) relatam que a administração dos serviços da plataforma *OpenSim* pode demandar bastantes esforços, mas para suportar há algumas ferramentas desenvolvidas por terceiros.

2.7 PESQUISAS RELACIONADAS

A busca a trabalhos relacionados ao da presente tese procurou identificar algumas pesquisas e aplicações no estado-da-arte. As pesquisas e aplicações identificadas são descritas a seguir, visando trazer à tona as relações delas com a presente tese, além de suas contribuições específicas e lacunas identificadas. O Quadro 16 apresenta quais as classes de problemas e quais os artefatos identificados em cada uma das pesquisas analisadas.

Quadro 16 - Resumo das Pesquisas no Estado-da-Arte

Item	Instituição de Origem	Classe de Problemas	Artefatos
2.7.1	TUHH - Hamburgo/Alemanha	Avaliação e Desenvolvimento de Competências para atividades operacionais de Manutenção Industrial através da Realidade Virtual	Método para avaliar e desenvolver competências da manutenção industrial utilizando Realidade Virtual
2.7.2	RWTH Aachen/Alemanha (Artigo 1)	Utilização da Realidade Virtual Imersiva para desenvolver Competências de Engenharia de Manufatura no contexto da Indústria 4.0	Experimentos com <i>Oculus Rift</i> e <i>Minecraft</i> e para avaliação da usabilidade, colaboração virtual, experiência dos usuários, estado de <i>flow</i> e presença espacial
2.7.2	RWTH Aachen/Alemanha (Artigo 2)	Utilização da Realidade Virtual Imersiva para desenvolver Competências associadas à Resolução de Problemas	Experimentos com <i>Oculus Rift</i> e <i>Minecraft</i> para relacionar a experiência do usuário, presença e <i>flow</i> com o desempenho na realização das tarefas
2.7.3	TalTech Tallinn/Estônia e CNR/Italia	Desenvolvimento de competências necessárias para indústria 4.0 através de tecnologias de realidade virtual	LF composta de um sistema de Realidade Musturada combinando as tecnologias de Realidade Virtual e Gêmeo Digital para fins de capacitação
2.7.3	AMRC Sheffield/Inglaterra	Utilização das tecnologias de Realidade Virtual Imersiva e Gêmeos digitais para desenvolver competências de monitoramento do desempenho de equipamentos por engenheiro industrial	Experimentos com ambiente virtual desenvolvido usando a tecnologia <i>Unreal Engine</i>
2.7.4	UMinho - Minho/ Portugal	Definição de quais as competências necessárias aos profissionais de Engenharia e Gestão Industrial para atuar no contexto da Indústria 4.0	Identificação e caracterização das competências técnicas e transversais necessárias para atual no contexto da Indústria 4.0 por profissionais de Engenharia e Gestão Industrial

Fonte: Elaborado pelo autor

2.7.1 Realidade Virtual aplicada à Manutenção no Contexto da Indústria 4.0

A pesquisa publicada no artigo “Virtual Reality for the Training of Operators in Industry 4.0” dos pesquisadores Schroeder et al. (2017) da Universidade de Tecnologia de Hamburgo, Alemanha, visa analisar quais partes de um ciclo de operação industrial tem maior potencial de ser suportado por Realidade Virtual como uma tecnologia de capacitação profissional. Para alcançar este objetivo, os autores propõem um processo de capacitação e uma arquitetura de sistema para aplicação de Realidade Virtual.

A aplicação enfocada no artigo é a execução de tarefas complexas de manutenção industrial. Os autores justificam a necessidade de um método para os operadores adquirirem experiência pela primeira vez ou após um longo período de tempo sem executar a mesma tarefa, visando desenvolver as habilidades cognitivas e motoras. O método, segundo os autores, deve permitir com que o aprendiz interaja com o objeto de trabalho sem que ele esteja presente fisicamente, dando assim a possibilidade de ser treinado em qualquer local desejado, justificando assim o uso de tecnologias de Realidade Virtual.

Inicialmente é proposta a utilização do ciclo geral para a identificação das operações, desenvolvido por Tietze e Lödding (2014), visando identificar quais partes das tarefas podem ser mais beneficiadas com o uso de Realidade Virtual. Esta etapa possui alta similaridade com a primeira fase do *Design* Instrucional ADDIE, apresentado anteriormente. Neste sentido, cada uma das etapas do ciclo operacional convencional (sem o uso de Realidade Virtual) é analisada no contexto de manutenção um motor específico, conforme a seguir:

- i) Obtenção e processamento de informações: nesta etapa o operador faz uma leitura das instruções de trabalho como uma preparação para a operação de manutenção propriamente dita. Esta etapa requer apenas habilidades cognitivas, conforme os autores, tais como, conhecimento e imaginação.
- ii) Alocação de materiais e ferramentas: nessa etapa, fazendo referência à Taxonomia de Bloom, segundo os autores são requeridas habilidades cognitivas relacionadas ao conhecimento das corretas ferramentas para utilizar até o nível de aplicação das mesmas. Segundo os autores, não necessariamente essas informações são descritas nas instruções de trabalho. Outro ponto apontado pelos autores, é que as habilidades motoras associadas à coleta e alocação dos materiais e ferramentas podem ser desconsideradas, assumindo que os operadores já possuam essas habilidades básicas.

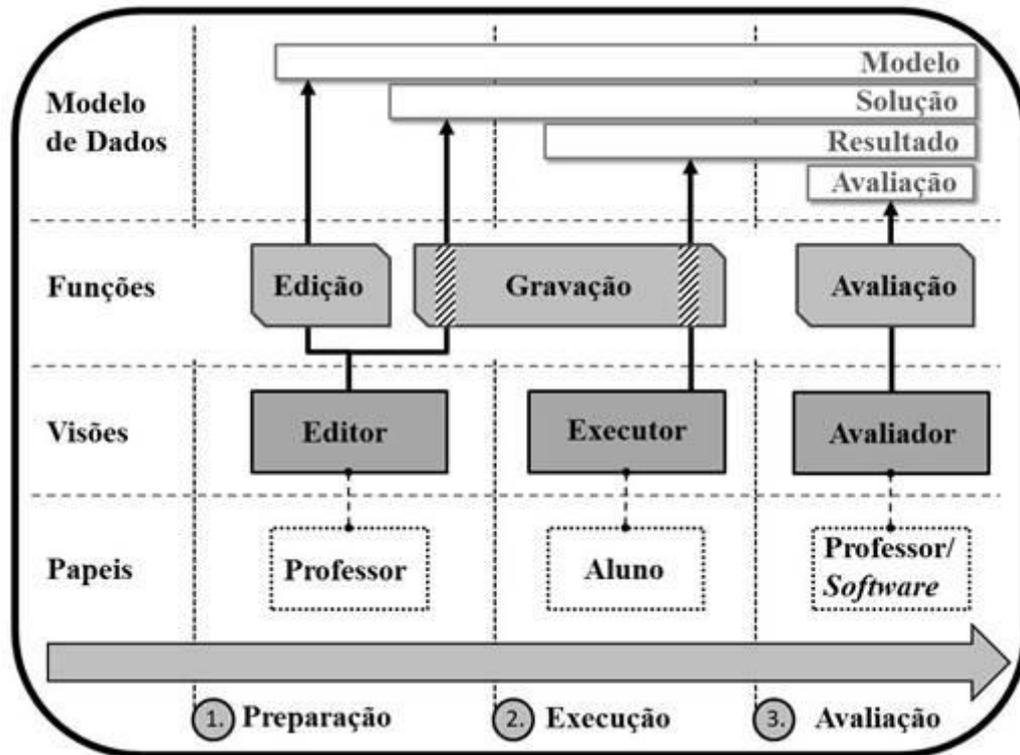
- iii) Preparação do componente e do local: no exemplo apresentado pelos autores, é citada a necessidade desde saber onde encontrar os componentes até a aplicação de habilidades motoras para manipulação de uma ponte rolante.
- iv) Execução: nessa etapa o operador necessita aplicar as habilidades cognitivas de aplicação das informações obtidas e as habilidades motoras para a correta execução da manutenção propriamente dita, usualmente sob um ambiente de pressão de tempo.
- v) Realimentação e pós-processamento: são requeridas habilidades cognitivas até o nível de aplicação para organizar e limpar o espaço de trabalho e documentar suas ações.

Embora Schroeder et al. (2017) não deixem explícito no texto do artigo qual é a questão de pesquisa do trabalho deles, fica evidente que pelo menos um deles trata-se de avaliar até que ponto o uso de Realidade Virtual apenas para habilidades motoras (operações físicas) é vantajoso em relação ao uso de capacitação convencional. Como variáveis para avaliação de desempenho, são citadas o tempo e a qualidade na execução das tarefas. Além disso, a definição da arquitetura do sistema de capacitação em si parece estar associada à questão de pesquisa, como um artefato para viabilizar a implementação da solução.

O que os autores chamam de arquitetura do sistema de capacitação é ilustrado na Figura 24. Basicamente os autores propõem três etapas gerais: preparação, execução e avaliação da capacitação. Ou seja, etapas gerais muito similares ao que é proposto nas três últimas etapas do *Design Instrucional ADDIE*. Cada uma delas é descrita a seguir.

Na primeira etapa, a “Preparação”, o instrutor utiliza a visão de Edição para executar a função de “Edição”. Os conhecimentos explícitos de cada etapa definida na instrução de trabalho são colocados no modelo da operação no ambiente de Realidade Virtual. Ainda na etapa de “Preparação”, o instrutor ou um operador experiente utiliza ainda a visão de “Edição”, mas para fazer a “Gravação” das ações no banco de dados da “Solução”.

Figura 24 - Arquitetura do Sistema de Capacitação



Fonte: adaptada de Schroeder et al. (2017)

Na segunda etapa, quem vem a ser a “Execução” do treinamento pelo aluno, cada etapa indicada deve ser seguida pelo aluno. Ele utiliza a visão de “Executor” e deve repetir cada movimento previamente gravado no módulo “Solução” e também utilizando o módulo de “Gravação”, gerar um “Resultado”.

Na última etapa, o próprio software avalia automaticamente o “Resultado”, ou essa atividade é feita pelo instrutor, utilizando a visão de “Avaliador”. Como saída é gerada a “Avaliação”. De acordo com Schroeder et al. (2017), a pesquisa encontra-se na fase de desenvolvimento do protótipo. Na Figura 25 é ilustrada uma etapa de operação de manutenção que precisa ser executada pelo operador, onde são apresentadas instruções em formato texto e o ambiente de realidade virtual.

Figura 25 - Protótipo do Sistema de Capacitação em Realidade Virtual



Fonte: Schroeder et al. (2017)

2.7.2 Ambientes Virtuais de Aprendizagem para a Indústria 4.0

Foram identificados dois artigos publicados por pesquisadores da Universidade RWTH de Aachen, na Alemanha, descrevendo pesquisas no estado-da-arte nos últimos quatro anos. Eles serão descritos a seguir.

No artigo de Schuster et al. (2015), “Preparing for Industry 4.0 - Testing Collaborative Virtual Learning Environments with Students and Professional Trainers”, são relatados alguns estudos que estão sendo conduzidos com alunos de Engenharia e instrutores profissionais na área de manufatura. Segundo os autores, no contexto de mudança educacional de ambientes convencionais para ambientes de aprendizado virtuais complexos, percebem-se avanços no sentido de existirem componentes de aprendizado mais colaborativos e interativos, no entanto, segundo os autores, o cenário atual ainda estaria longe de poder ser chamado estado-da-arte. A seguir é detalhado cada um dos experimentos realizados, tendo como foco principal o aprendizado colaborativo em ambientes de realidade virtual no contexto da Indústria 4.0.

Na primeira investigação foram realizados alguns *workshops* com alunos de Engenharia no sentido de identificar que tipos de cenários de ambientes virtuais de aprendizagem eles indicam preferência e qual a preferência por método didático, como

exploração livre do ambiente, jogos didáticos, etc. A primeira conclusão foi que os estudantes preferem igualmente cenários realistas (como fábricas simuladas) e cenários fictícios (como andar por uma fábrica na perspectiva do produto). Confirmou-se também que os alunos avaliam de forma muito positiva a possibilidade de receber *feedback* instantâneo. A combinação de aprendizagem com jogos foi relatada como bem-vinda aos alunos, mas não necessariamente no sentido de apreciarem o processo de aprendizagem no ambiente virtual ou considerar que o ambiente seja útil. Uma das contribuições dos alunos foi relativa à preocupação de que muitas características desnecessárias no ambiente virtual de aprendizagem podem causar distração em relação às tarefas que precisam ser executadas para o aprendizado.

O próximo estudo relatado, que segundo os autores ainda estaria em andamento, visou investigar as complexas interações de diferentes fatores humanos em situações de colaboração virtual. Segundo os autores, o estudo analisa a relação entre características pessoais, características de hardware objetivas, experiências subjetivas, comportamento colaborativo objetivo e desempenho nas tarefas. Para o experimento relatado no artigo foi desenvolvido um ambiente virtual na plataforma *Minecraft*, na qual os alunos, utilizando óculos de imersão do tipo *Oculus Rift*, foram submetidos a um ambiente contendo um mesmo problema a ser resolvido, o qual, segundo os autores estaria relacionado ao contexto de Indústria 4.0. O problema proposto foi de restaurar a eletricidade num prédio virtual, mas sem conhecerem inicialmente os passos necessários. Através de instruções adicionais, as seguintes etapas precisavam ser seguidas pelos alunos de forma colaborativa: ter uma visão geral das instalações elétricas do prédio, identificar em que locais do prédio estaria ocorrendo falta de energia, lembrar cada passo precisa ser seguido para reparar o circuito elétrico, identificar o local no prédio onde o problema pode ser resolvido.

A experiência dos alunos no ambiente virtual no segundo estudo foi avaliada utilizando questionários para avaliar a presença espacial e o estado de *flow* dos alunos, além de uma entrevista para buscar eventuais relações com as características pessoais dos alunos. Os alunos também foram questionados sobre a qualidade da experiência no tocante aos aspectos de colaboração, as estratégias para a solução de problemas, administração das tarefas e comunicação. Uma das conclusões, baseada na pequena amostragem realizada, foi que os alunos que verbalizaram explicitamente o que fazem e o que pensam o que os outros deveriam fazer, identificam mais rapidamente as subtarefas necessárias. Foi também verificado que se

por um lado o uso de óculos imersivos possui um efeito motivacional, por outro foi verificada a tendência de distração em relação à tarefa de resolução de problemas.

O terceiro estudo publicado no artigo de Schuster et al. (2015) foi realizado utilizando como base o mesmo ambiente de aprendizagem do estudo anterior, porém o foco da avaliação foi a percepção dos instrutores. Eles foram orientados a interagir com os alunos no ambiente virtual, explicando o problema a ser resolvido, porém sem antecipar o processo de solução. Segundo os autores, a percepção geral dos participantes do estudo foi muito positiva. Mesmo com algumas dificuldades enfrentadas por alguns durante o início da utilização do mundo virtual, os benefícios do uso de ambientes virtuais de aprendizagem como os experimentados por eles foram considerados elevados. O treinamento foi avaliado como altamente adaptativo e os participantes enfatizaram o sentimento de imersão no mundo virtual e o aprendizado significativo.

No artigo “Virtual Environments in Higher Education - Immersion as a Key Construct for Learning 4.0” Janssen et al. (2016) apresentam resultados complementares ao da pesquisa de seus colegas da Universidade de Aachen, descrita anteriormente. Além disso, o foco da pesquisa e a arquitetura de ensino e aprendizagem proposta são muito similares. Quanto aos recursos tecnológicos utilizados, foram exatamente os mesmos (software *Minecraft* para o mundo virtual e óculos de realidade virtual *Oculus Rift*).

Em relação aos estudos citados anteriormente pelos pesquisadores da mesma instituição, as seguintes diferenças foram identificadas em relação ao experimento conduzido:

- atividade experiencial: nessa pesquisa a atividade proposta aos alunos foi a de construção de dos trilhos de um trem autônomo para o transporte entre um almoxarifado e uma fábrica.
- utilizada uma ferramenta para gravar alguns parâmetros de desempenho dos alunos: tempo de execução da tarefa, quantidade de trilhos utilizados, quantidade de erros e distância total percorrida.
- utilizada uma ferramenta para gravação da tela do ambiente virtual durante a execução da tarefa;
- medição da condutividade da pele do aluno em três momentos (início, meio e ao final da execução da tarefa), visando avaliar a atividade fisiológica.

De forma similar aos estudos anteriores, este estudo utilizou-se de questionários para avaliação dos alunos. Foram utilizados os seguintes questionários: de experiência imersiva (questionário IEQ), de presença (PQ), de *flow* (escala FSC) e de avaliação da experiência prévia com jogos (questionário GEQ). No artigo foram reportados os resultados do pré-teste, realizado com dez alunos, no qual se buscou identificar correlações entre as variáveis.

Por último, a partir do vídeo gravado com a tela do ambiente virtual, foram identificadas três diferentes estratégias adotadas pelos alunos, sendo que a segunda delas foi a adotada com maior frequência (60% dos alunos):

- obter uma visão geral da posição inicial antes de iniciar a tarefa;
- obter uma visão geral antes de iniciar a tarefa ao mesmo tempo em que caminha pela área industrial;
- começar diretamente a tarefa antes de ter uma visão geral.

No entanto, segundo Janssen et al. (2016), no pré-teste não foi possível identificar uma correlação entre o desempenho e a estratégia utilizada. Uma das possibilidades para este resultado, não claramente descrita pelos autores no artigo, é o simples fato de que o poder estatístico do teste foi muito baixo, uma vez que o estudo foi conduzido com apenas dez alunos.

2.7.3 Learning Factory com Gêmeos Digitais

As próximas pesquisas analisadas foram publicadas no mesmo ano (2018) por dois diferentes grupos de pesquisa, convergindo sobre o mesmo assunto: aplicação do conceito de gêmeos digitais (*digital twins*) para fins de capacitação profissional.

O primeiro artigo, denominado “Enabling the Teaching Factory leveraging a Virtual Reality system based on the Digital Twin”, foi publicado pelos pesquisadores Kuts et al. (2018) da Universidade de Tecnologia de Tallinn (Estônia) e do Conselho Nacional de Pesquisa da Itália. Os autores apresentam o resultado de uma investigação sobre a potencial combinação das tecnologias de Realidade Virtual e Gêmeo Digital para fins de capacitação em LF, desenvolvida no IVAR Lab (“The Virtual and Augmented Reality Laboratory”).

O artigo de Kuts et al. (2018) propõe e descreve o sistema de capacitação implementado, o qual é constituído das seguintes partes.

- sistema de manufatura flexível, conforme fotos 1 e 3 da Figura 26, incluindo um robô móvel de abastecimento, uma esteira transportadora, um robô Mitsubishi e uma máquina de comando numérico, sendo todos os elementos controlados por um sistema de execução de manufatura;

- sistema de avaliação e monitoramento de desempenho através de dispositivos de Iot distribuídos nos equipamentos;
- dois robôs para trabalhos pesados;
- dispositivos de realidade virtual e aumentada, incluindo óculos, câmeras, drones e luvas hápticas;
- réplica virtual 3D na escala 1:1 de todos os equipamentos reais, construídos num ambiente de realidade virtual (conforme fotos 2 e 4 da Figura 26) desenvolvidos em *Unity 3D*.

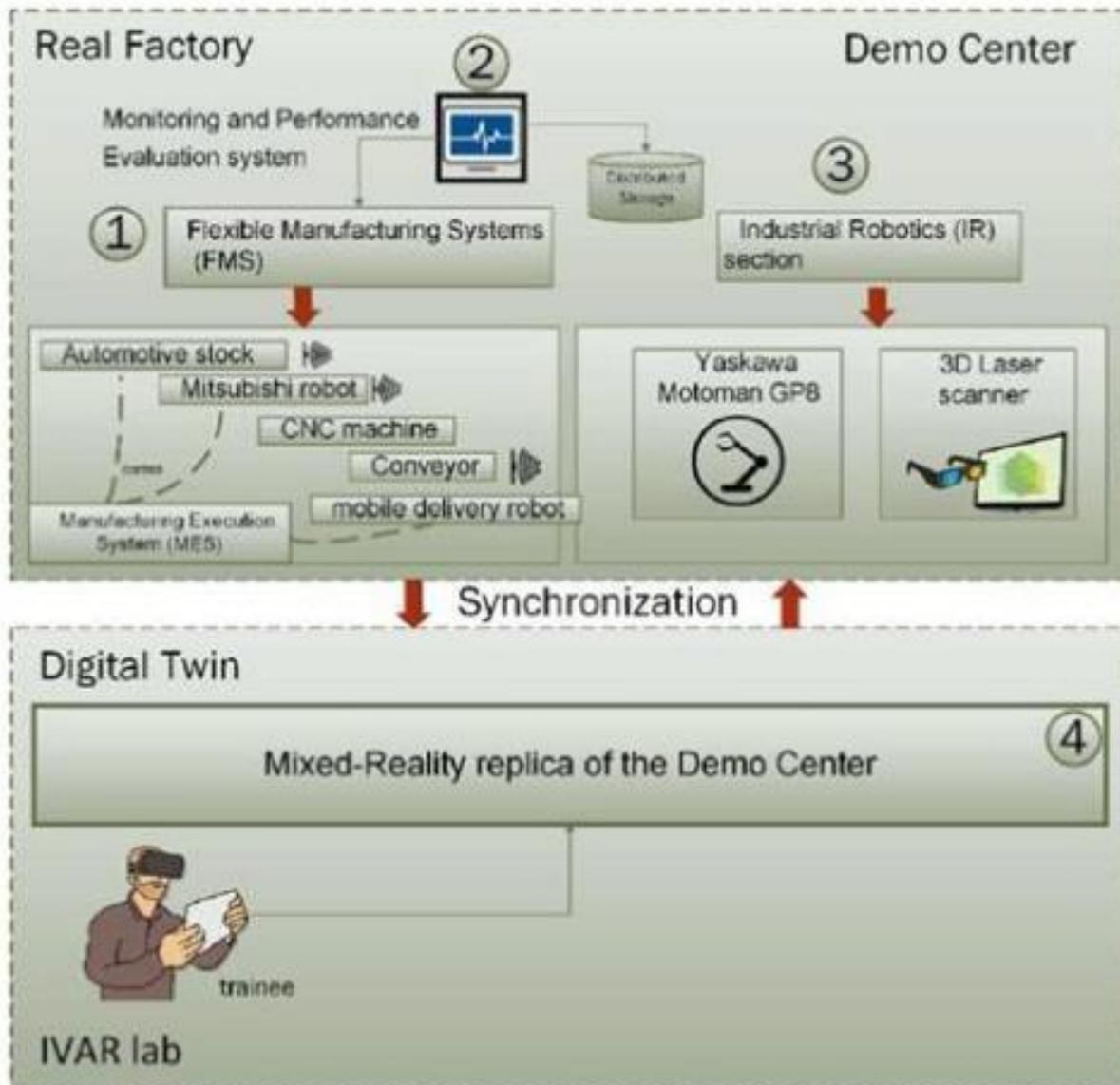
Figura 26 - Foto do Laboratório Real e Seu Gêmeo Digital



Fonte: Kuts et al. (2018)

Conforme explicado no artigo, as tecnologias utilizadas são potencializadas através da sincronização entre os equipamentos reais e o ambiente virtual simulado (Gêmeo Digital). O sistema, conforme explicado por Kuts et al. (2018), utiliza o conceito de telemetria de fábrica, ou seja, os dados produzidos nas máquinas reais possuem a característica de persistência no Gêmeo Digital, para serem utilizados posteriormente, ajudando a garantir uma interação mais realista do usuário com o ambiente fabril simulado. A Figura 27 representa o sistema proposto pelos autores. Eles concluem que o estudo de caso demonstrou um grande sucesso quanto à retenção do conhecimento e o desenvolvimento de competências autênticas, embora não apresentem resultados quantitativos.

Figura 27 - Combinação de Realidade Virtual com Gêmeo Digital

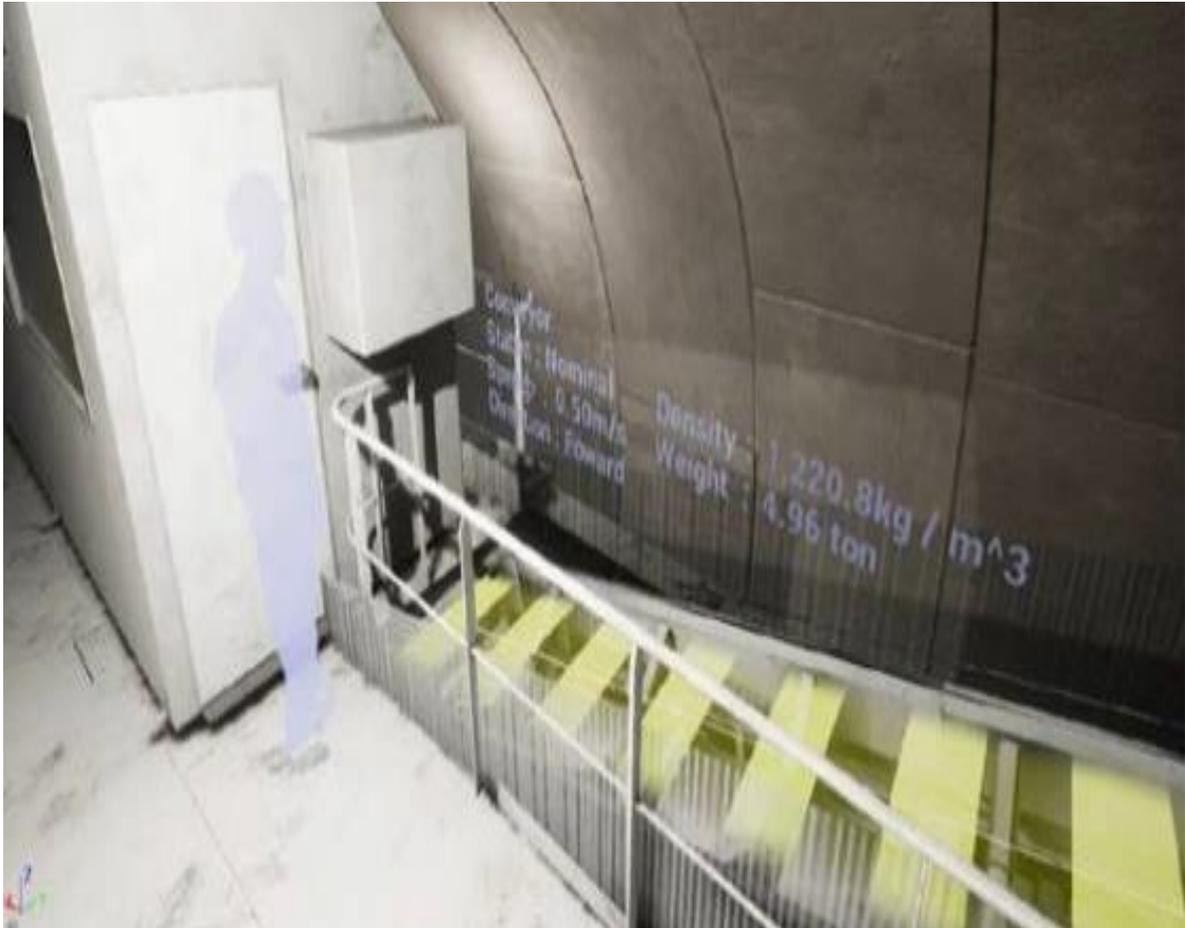


Fonte: Kuts et al. (2018)

O segundo artigo, de Eyre e Freeman (2018), “Immersive Applications of Industrial Digital Twins”, apresenta alguns exemplos de aplicações do conceito de Gêmeo Digital, sendo que um deles é utilizado para a capacitação na área de Engenharia Civil. A tarefa simulada consiste no monitoramento do desempenho de equipamentos, conforme ilustrado na Figura 28, os quais no mundo real são instalados em locais que oferecem risco à segurança das pessoas. O conceito de Gêmeo Digital é aplicado ao utilizar dados reais no mundo virtual, coletados no equipamento real, além de que a réplica digital representa fielmente o equipamento real. Há cinco indicadores apresentados aos alunos, os quais devem verificar se os parâmetros de desempenho estão adequados. Conforme explicam Eyre e Freeman (2018),

mesmo que exista um sistema de monitoramento automático, a experiência das pessoas em reconhecer padrões de desempenho permite identificar problemas que o sistema de monitoramento ainda não detectou.

Figura 28 - Exemplo de Aplicação de Gêmeo Digital



Fonte: Eyre e Freeman (2018)

2.7.4 Identificação e Caracterização das Competências para Indústria 4.0

O autor propôs três dimensões de competências relacionadas com a Indústria 4.0: competências transversais, competências técnicas e pilares tecnológicos da Indústria 4.0. A partir de resultados de entrevistas e questionários, o autor elencou as competências com maior pontuação nessas três dimensões, conforme Quadro 17. O índice de importância vai de 5 (cinco) para mais importante a 1 (um) para menos importante, em cada dimensão.

Quadro 17 - Competências para Indústria 4.0

Dimensão das Competências	Competência	Índice de Importância
Competências Transversais	Resolução de Problemas Complexos	5
	Pensamento Crítico	4
	Gestão de Pessoas e liderança	3
	Inteligência Emocional	2
	Orientação para o Serviço	1
Competências Técnicas	Analisar, mapear, planejar, implementar, otimizar e gerir sistemas produtivos	5
	Conhecimentos em Gestão de projetos	4
	Analisar, mapear, planejar, implementar, otimizar e gerir processos	3
	Articulação de objetos de conhecimento de diversas áreas	2
	Analisar, planejar e implementar sistemas de tecnologias de informação e comunicação, e planeamento e controlo da produção	0,5
Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0	Internet das coisas	4
	Análise de grande quantidade de dados	4
	Simulação	4
	Robótica autônoma flexível e cooperativa	2
	Cibersegurança	1

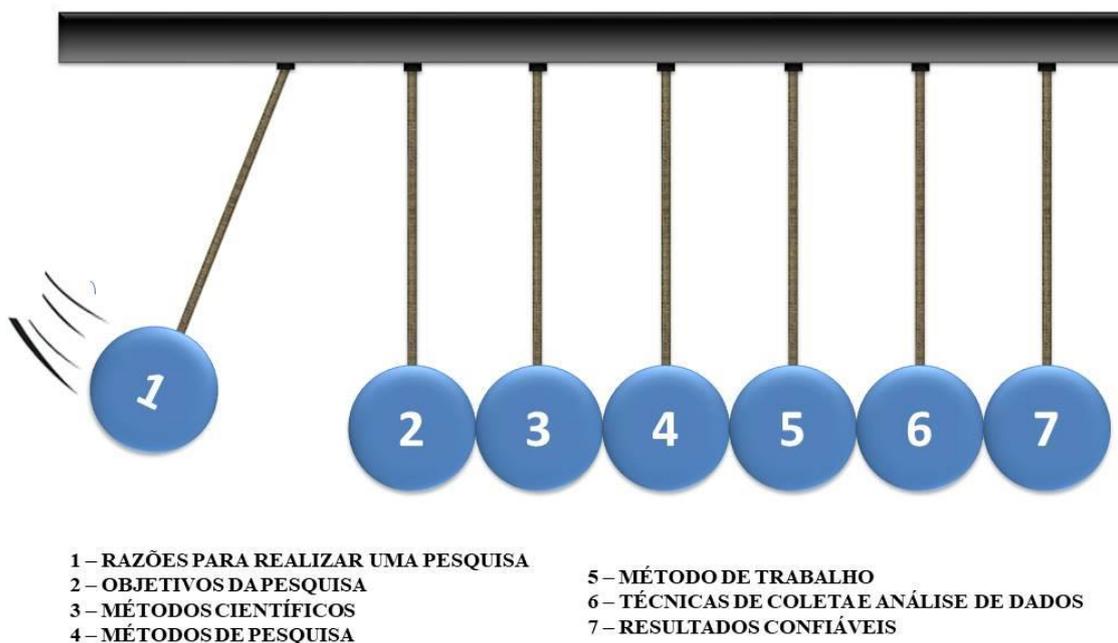
Fonte: adaptado de Costa (2018)

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Conforme esclarecem Gerhardt e Silveira (2009), a metodologia de pesquisa vai além da descrição dos procedimentos (métodos e técnicas a serem utilizadas na pesquisa), ou seja, deve representar antes de tudo a escolha teórica realizada pelo pesquisador para abordar o objeto de estudo. Dessa forma, o método de pesquisa é consequência de tal escolha e pode ser definido como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que orientam a geração de conhecimentos válidos, indicando um caminho a ser seguido (LAKATOS e MARCONI, 1990).

A estratégia para condução da pesquisa utilizou como referência o chamado modelo do pêndulo, conforme apresentado por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), e ilustrado na Figura 29. Os dois primeiros itens foram descritos no Capítulo 1 da presente tese. A partir desse ponto, a pesquisa foi avaliada quanto aos métodos científicos a adotar, o que veio a sedimentar a escolha do método de pesquisa. Neste sentido, coube confrontar os objetivos da pesquisa com os tipos de método científico: indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo e abduutivo.

Figura 29 - Pêndulo representativo da condução de pesquisas científicas



Fonte: adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015)

Yim (2001) define o método hipotético-dedutivo como sendo a investigação empírica de um fenômeno dentro de um contexto da vida real, sendo que neste caso o papel do

pesquisador está em colocar teorias à prova. Neste sentido, as teorias de ensino e aprendizagem, assim como as pesquisas já conduzidas sobre os benefícios das tecnologias de realidade virtual e tantas outras fundamentações foram consideradas como premissas para o método proposto, ou seja, a presente pesquisa não buscou comprovar sua aplicabilidade e eficácia de tais elementos. Desta forma, conclui-se que a natureza da pesquisa não se enquadra no método hipotético-dedutivo.

Ao avaliar os demais métodos científicos das ciências conhecidas tidas como tradicionais, conclui-se que nenhum deles parece oferecer todos os subsídios necessários para a condução da pesquisa. Enquanto no método indutivo são construídos ou avaliados argumentos baseados em observações particulares, o método dedutivo sugere a construção ou a avaliação de argumentos baseados em premissas ou hipóteses (GREGORY E MUNTERMANN, 2011). Neste sentido, o objetivo da presente pesquisa tem certa consonância com o método dedutivo para a fase de desenvolvimento em si do método proposto, enquanto o método indutivo parece adequar-se à fase de avaliação do método proposto e a generalização do mesmo para uma classe de problemas.

Segundo Dresch (2013), há um método científico além dos três já mencionados da ciência tradicional: o método abduutivo. Segundo a autora, o método abduutivo é indicado para atividades de pesquisa que exigem mais o raciocínio criativo do pesquisador. Gregory e Muntermann (2011) esclarecem que uma característica importante do método abduutivo é a geração de ideias melhores ao longo do tempo, iniciando pela identificação de uma anomalia e tendo como meta final a geração de uma solução coerente para essa anomalia. Assim conclui-se que o método abduutivo tem grande potencial de ser útil ao objetivo principal da pesquisa.

Adicionalmente à identificação dos métodos científicos a utilizar, a classificação da pesquisa em relação à sua natureza, forma de abordagem do problema e classificação dos objetivos também contribuíram para o delineamento do método de pesquisa. Em relação à natureza da pesquisa, pode-se dizer que ela é do tipo aplicada, tendo em vista que objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos (SILVA e MENEZES, 2001, DRESCH, 2013). Já a forma de abordagem do problema é qualitativa, pois embora possam ser utilizados dados quantitativos, o objetivo central é desenvolver um método baseado em *design* instrucional. Finalmente em relação à classificação dos objetivos, a pesquisa é de natureza exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito.

Ao buscar o desenvolvimento de um conjunto de artefatos, o paradigma *Design Science Research* (DSR), também conhecido como *Design Science* ou *Design Research* foi considerado o mais adequado à questão de pesquisa formulada, ao objetivo geral e à natureza da tese a ser desenvolvida. A seguir será descrito o *Design Science Research*, seus princípios e suas etapas e a justificativa para a sua adoção.

3.1 PARADIGMA DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR)

Segundo mencionam Blessing e Chakrabarti (2009), existem poucas publicações sobre o DSR, mesmo que a necessidade de resolver problemas metodológicos venha sendo discutida há um bom tempo. Manson (2006) define DSR como um processo de utilização do conhecimento para projetar artefatos úteis e, então, utilizar vários métodos rigorosos para analisar se determinado artefato é ou não eficaz. Já Van Aken (2004) enfatiza que no DSR a orientação é para a geração de conhecimento para projetar soluções, existindo uma preocupação objetiva com as ações necessárias para a operacionalização das proposições elaboradas.

O DSR, conforme citado por Guimarães (2009), tem suas origens na Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). A ideia perseguida era trabalhar em pesquisas relacionadas com a construção de artefatos nessa área. O autor cita que outras ciências de natureza aplicada, como a engenharia e a arquitetura, começaram a usar esse método em suas pesquisas. Da mesma forma isso é descrito por Blessing e Chakrabarti (2009), ao mencionarem que algumas propostas de método de DSR foram desenvolvidas na área de processo de projeto de produto e também em áreas mais artísticas do processo de projeto, como a de *Design*¹ industrial. Porém, nessas últimas áreas citadas, os autores afirmam existir pesquisadores que debatem o *Design*² como pesquisa, mas não chegaram a propor uma metodologia específica.

¹ Nesse caso, o termo *Design* refere-se ao processo de projeto aplicado ao layout de produtos.

² O termo *Design*, quando utilizado na presente tese sem outro termo associado a ele, significa o processo de projeto de uma maneira geral, não restrito apenas ao processo de projeto de produto.

3.2 JUSTIFICATIVA PARA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO

A primeira questão que contribui para a escolha do DSR como método de pesquisa foi a análise crítica dos métodos científicos disponíveis ao pesquisador, conforme descrito anteriormente neste capítulo. Ao mencionar que a *Design Science* traz consigo o método abduutivo, Dresch (2013), sugere a utilização do DSR com vistas à aplicação do método abduutivo e assim propor soluções criativas para o problema de pesquisa.

A utilização do DSR também se justifica pelo fato de seu objetivo final estar ligada intimamente ao resultado almejado pela pesquisa, qual seja: a criação de um artefato para potencial uso prático por outros pesquisadores e pelas empresas. Porém, apenas ao refletir sobre essa questão, surge um questionamento: a pesquisa-ação não serviria para este fim? Tal dúvida quanto às diferenças entre métodos tem sido estudada por alguns pesquisadores, como Järvinen (2007) e Iivari e Venable (2009).

A conclusão de Järvinen (2007) em seu trabalho é que existem aspectos coincidentes entre pesquisa-ação e o DSR, a ponto de considerá-las abordagens similares de pesquisa. Já Iivari e Venable (2009) concluem no seu estudo que apesar da compatibilidade entre os dois métodos de pesquisa, suas premissas, interesses de pesquisa e atividades podem ser muito diferentes, dependendo do propósito da pesquisa. Cabe ressaltar que os pontos que foram decisivos para a escolha do método de pesquisa, dentre pesquisa-ação e DSR foram os seguintes:

- a) O DSR pode criar artefatos inovadores, enquanto a pesquisa-ação explica a realidade ou tenta dar sentido a ela (IIVARI; VENABLE, 2009);
- b) A pesquisa-ação está direcionada a uma empresa específica, enquanto os artefatos gerados pelo DSR buscam direcionar uma classe de problemas mais amplos (IIVARI; VENABLE, 2009);
- c) O DSR resolve problemas construtivos (produzindo novas inovações) e problemas de melhoria (melhorando o desempenho das entidades existentes), enquanto a pesquisa-ação modifica uma dada realidade ou desenvolve um novo sistema (JÄRVINEN, 2005).

Dresch (2013) contribuiu nessa discussão ao analisar as diferenças entre o DSR e outros métodos de pesquisa além da Pesquisa-ação, a partir dos seus objetivos. Conforme pode ser visto no Quadro 18, a autora assinala os pontos de maior ênfase no DSR: resolver um

problema prático, construir um artefato, aplicar um artefato em um ambiente real e prescrever soluções.

Quadro 18 - Síntese dos métodos de pesquisa e os objetos de pesquisa

Objetivos da Pesquisa	Metodologias de Pesquisa				DSR
	Estudo de Caso	Pesquisa-ação	Survey	Modelagem	
Descrever um fenômeno	X		X		
Testar uma teoria	X		X		
Criar uma teoria	X				
Resolver um problema prático		X		X	X
Explicar um problema prático		X		X	
Avaliar o comportamento de pessoas e de um ambiente			X		
Construir um artefato					X
Aplicar um artefato em um ambiente real		X			X
Formalizar um artefato	X	X		X	
Prescrever soluções					X

Fonte: adaptado de Dresch (2013)

3.3 MODELO DE DSR

Foram identificadas na literatura diferentes vertentes de modelos para o DSR, como as estudadas por Vaishnavi e Kuechler (2004), Järvinen (2007) e Manson (2006), Blessing e Chakrabarti (2009) e Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015). Decidiu-se utilizar como base o método proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), o qual tem algumas vantagens quanto à facilidade de utilização. Este método foi desenvolvido originalmente por Dresch (2013), a partir de uma pesquisa de um trabalho de pesquisa que culminou na dissertação intitulada “Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção”. A autora utilizou como base de desenvolvimento as pesquisas de vários autores consagrados nessa área, como Neil J. Manson, Hideaki Takeda, Bill Kuechler e Vijay K. Vaishnavi.

O modelo de DSR proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015) é composto por doze etapas. A primeira etapa, chamada de Identificação do Problema, nasce do interesse do pesquisador em estudar uma nova ou interessante informação, da busca por uma resposta para uma questão importante ou ainda para desenvolver uma solução para um problema prático ou mesmo uma classe de problemas (DRESCH, 2013).

Na segunda etapa do método, chamada de Conscientização do Problema, segundo Dresch (2013) o pesquisador deve cercar-se de todas as informações possíveis, visando uma

compreensão extensa sobre as várias facetas do problema a ser analisado. É proposta como uma etapa subjacente a revisão sistemática da literatura e um estudo adicional da literatura proposto na etapa seguinte, visando a identificação de classes de problemas e artefatos existentes, através de pesquisas no estado-da-arte.

Na próxima etapa deve ser feita a proposição de artefatos para resolver o problema específico e em seguida realizado o Projeto do Artefato Selecionado (sexta etapa) e finalmente o Desenvolvimento do Artefato (sétima etapa). De acordo com Dresch (2013), em todos os autores de DSR pesquisados foi proposta uma etapa específica para o desenvolvimento do artefato.

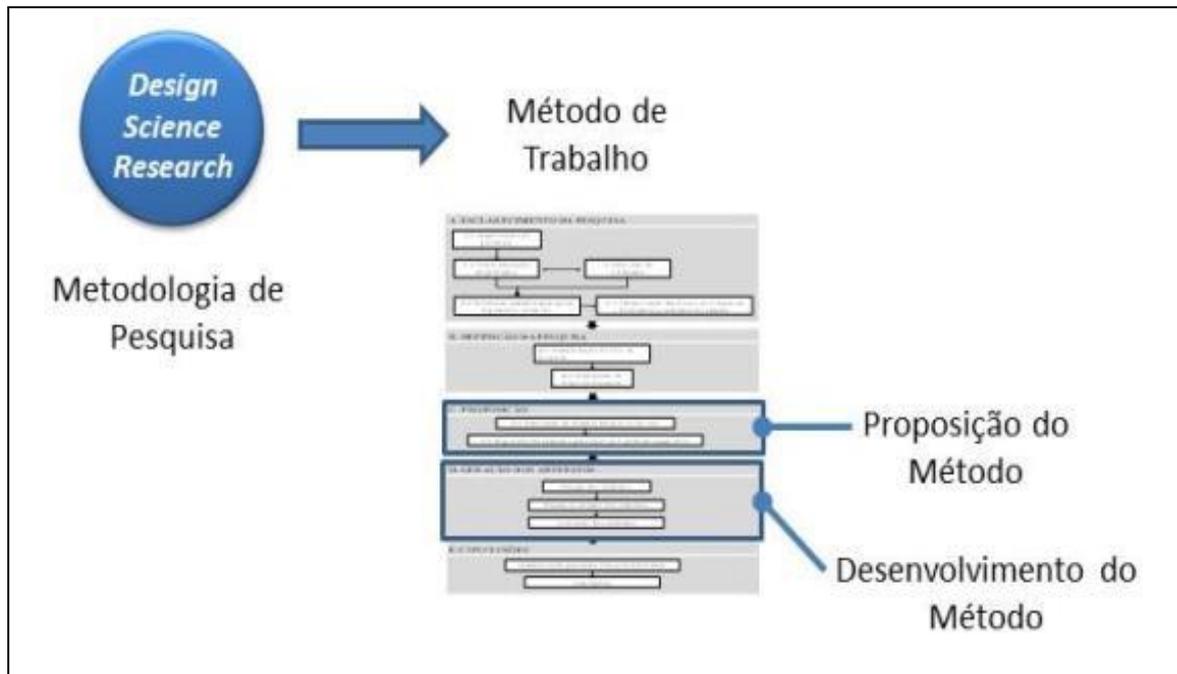
A etapa seguinte trata-se da Avaliação do Artefato, ou seja, da avaliação dos resultados dos experimentos conduzidos com a utilização do conjunto de artefatos desenvolvidos e aplicados em uma amostragem do objeto de pesquisa. Conforme ressalta Dresch (2013), é fundamental que os resultados dessa avaliação sejam compilados e disponibilizados para toda a comunidade organizacional e acadêmica que poderão fazer uso dessas informações, o que se trata da próxima etapa do método, a Explicitação das Aprendizagens. Na etapa posterior, Conclusões, o objetivo é expor de uma maneira geral os resultados obtidos com a pesquisa, assim como as decisões tomadas durante a sua condução.

Dresch (2013) ainda propõe duas etapas finais: a Generalização para uma Classe de Problemas e a Comunicação dos Resultados. A primeira está relacionada à abordagem científica indutiva, em que se procura identificar até que ponto os resultados obtidos possa ser estendido para problemas gerais que estejam no mesmo escopo do problema de pesquisa estudado. E a última etapa, basicamente trata-se da divulgação final da pesquisa, através de, por exemplo, a própria tese, publicações científicas, apresentação em Congressos, etc.

3.4 MÉTODO DE TRABALHO DA PESQUISA

Considerando-se que na presente tese o termo “método” é utilizado para significados distintos, cabe esclarecer suas diferenças. O método de desenvolvimento de competências é o principal artefato resultante da presente pesquisa, ou seja, é o objetivo da pesquisa. Já o método de pesquisa representa a escolha teórica para abordagem do objeto de estudo, ou seja, o DSR, descrito no item 3.3. Por último, o método de trabalho adotado é o conjunto de etapas e procedimentos definidos para aplicar o DSR, conforme descrito neste item. A Figura 30 ilustra estes elementos.

Figura 30 - Método de Pesquisa, Método de Trabalho e Método Proposto.



Fonte: Elaborada pelo autor

Embora tenha sido escolhido como modelo de DSR o proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015, visando uma melhor robustez foram incluídas nas etapas iniciais algumas atividades propostas pelo método de Blessing e Chakrabarti (2009). O método de trabalho possui cinco etapas principais, e cada uma delas com algumas subetapas, conforme descrito a seguir.

3.4.1 Esclarecimento da Pesquisa

A primeira etapa possui o mesmo nome da proposta no Blessing e Chakrabarti (2009), Esclarecimento da Pesquisa, mas basicamente engloba as quatro etapas iniciais do método de Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), com exceção de uma subetapa do método de Blessing e Chakrabarti (2009) que foi adicionada: Esclarecer Questões Principais, Hipóteses e Objetivos. Essa adição visa deixar mais claro esta entrega, que é uma das mais importantes da fase inicial da pesquisa e fundamental para uma tese de doutorado.

As atividades previstas para esta etapa já foram apresentadas nos capítulos 1 e 2. No entanto, visando uma maior compreensibilidade das entregas de cada subetapa em relação ao método de pesquisa, cada uma delas será descrita a seguir. O Quadro 19 a seguir indica as subetapas do Esclarecimento da Pesquisa, as entregas previstas e a relação com os capítulos da presente tese.

Quadro 19 - Subetapas do Esclarecimento da Pesquisa

Subetapa	Entregas	Itens da tese
A.1 Identificação do Problema	Mapa Conceitual	1.1
A.2 Conscientização do Problema	Justificativa e Relevância da Pesquisa Critérios Preliminares	1.2
A.3 Revisão da Literatura	Diagrama de Relevância e Contribuição	1.2, 2.1 a 2.6
A.4 Esclarecer Questões Principais, Hipóteses e Objetivos	Questão de Pesquisa, Objetivo Geral, Objetivos Específicos	1.3 e 1.4
A.5 Identificação das Possíveis Classes de Problemas e Artefatos Existentes	Quadro-resumo contendo pesquisas no estado-da-arte, classes de problemas e artefatos existentes	2.7

Fonte: Elaborado pelo autor

A identificação do problema foi realizada no Capítulo 1. O mapa conceitual ilustrado na Figura 2 representa tanto a situação problemática existente quanto a situação desejada, ou seja, similar ao Modelo Inicial de Referência e o Modelo Inicial de Impacto do DSR.

Na Conscientização do Problema procurou-se avançar no entendimento do problema ao explorar a relevância em buscar desenvolver algum suporte à situação atual, ou seja, o desenvolvimento de artefatos para alcançar uma situação desejada. Neste sentido o item 1.2 da Introdução tratou da justificativa e relevância da pesquisa, do ponto de vista acadêmico, industrial e para sociedade.

Uma entrega adicional desta fase foi a definição de critérios preliminares para o suporte, ou seja, uma definição inicial dos requisitos esperados para o conjunto de artefatos a serem desenvolvidos na etapa de Geração dos Artefatos. Os requisitos nesta fase são preliminares, uma vez que posteriormente são atualizados na etapa de Proposição (item 4.3), quando são alocados aos artefatos propostos. Segue a lista de critérios preliminares (CP):

CP1: O método deverá possuir uma sequência de etapas claramente definida, tendo como estrutura central um *Design* Instrucional, e considerar pontos de decisão visando flexibilizar a metodologia para diferentes contextos e necessidades de aplicação.

CP2: O método deverá apoiar a identificação de quais as competências necessárias para natureza das de atividade incluídas no escopo da metodologia, relacionadas à Indústria 4.0, em uma organização específica.

CP3: O método deve estar embasada em um ou mais enfoques teóricos de ensino e aprendizagem, como forma de adequadamente sustentar o processo educacional envolvido.

CP4: Os paradigmas TWI e LF, caso sejam considerados aplicáveis ao escopo do método, deverão ser contemplados no método de acordo com os benefícios estimados.

CP5: Deverão ser consideradas no método as tecnologias de Realidade Virtual atualmente disponíveis, indicando em quais situações o seu uso é viável e vantajoso em relação ao uso de ferramentas convencionais.

CP6: O método deverá permitir a avaliação do nível das competências selecionadas de um aprendiz antes e depois da sua aplicação.

CP7: O método deverá contemplar o fato de que os ambientes virtuais de aprendizagem devem ser desenvolvidos e implementados utilizando como base um mapeamento de boas práticas existentes.

A revisão da literatura iniciou ainda no Capítulo 1, onde foi feita a justificativa da pesquisa para a Academia (item 1.2.1) através de um estudo de mapeamento da literatura. A estratégia de busca do estudo de mapeamento, conduzido acerca de publicações de teses e dissertações relacionadas à capacitação nas organizações, foi realizado levando em conta a importância de que a completude da busca possa ser avaliada. Posteriormente, no Capítulo 2, a partir do Diagrama de Relevância e Contribuição foram identificadas áreas de estudo relevantes à presente pesquisa, as quais foram incluídas no escopo do referencial teórico.

A partir da inquietação do pesquisador com a situação problemática identificada, foram propostos um objetivo geral e objetivos específicos, conforme Capítulo 1, visando endereçar a questão de pesquisa. Segundo Dresch (2013), classe de problemas trata-se da organização de um conjunto de problemas, práticos ou teóricos, que contenha artefatos úteis para a ação nas organizações. Já os artefatos, segundo Gill e Hevner (2011), são uma instanciação física ou uma representação simbólica dos conceitos de *design*. Em outras palavras, no contexto da presente tese, pode ser definido como o que foi desenvolvido para resolver uma ou mais classes de problemas, ou seja, em linhas gerais o método em si e suas ferramentas de suporte. A utilização do conceito de classes de problemas permite que as

soluções, construídas através de um artefato, não sejam apenas a resposta a certo problema em determinado contexto (VENABLE, 2006).

Visando identificar com maior clareza as possíveis classes de problema que foram efetivamente tratadas na presente tese, utilizou-se, além da definição anteriormente descrita de objetivos gerais e específicos, a análise das pesquisas do estado-da-arte apresentadas no item 2.7.

3.4.2 Definição da Pesquisa

A etapa de Definição de Pesquisa busca explicitar algumas entregas importantes no início da pesquisa, assim contribuindo para uma maior robustez. Uma vez esclarecidas a questão de pesquisa, objetivos, classes de problemas existentes e artefatos existentes na etapa anterior, a próxima atividade foi a determinação do foco da pesquisa, ou seja, o seu escopo, considerando os principais problemas que se quer resolver com os artefatos e as restrições de tempo e recursos para a pesquisa. Em seguida, uma vez definido o foco da pesquisa, foi elaborado um plano geral de pesquisa, considerando as próximas etapas explicadas a seguir.

Nesta segunda etapa de aplicação do método de DSR os objetivos foram: revisar se a delimitação da pesquisa deveria ser modificada em relação às definições iniciais do Capítulo 1, e em caso positivo atualizá-la, e a partir daí elaborar o Plano de Pesquisa, conforme Quadro 20.

Quadro 20 - Subetapas da Definição da Pesquisa.

Subetapa	Entregas	Itens da tese
B.1 Determinação do Foco da Pesquisa	Delimitação da Pesquisa	1.5
B.2 Elaboração do Plano de Pesquisa	Cronograma da Pesquisa	-

Fonte: Elaborado pelo autor

A delimitação previamente definida foi considerada adequada à abrangência desejada para a presente pesquisa. A única ressalva esteve em relação ao escopo das tecnologias digitais que se pretende avaliar na prática através dos experimentos. Foram retiradas do escopo de tecnologias as de Realidade Aumentada e Realidade Misturada. Isso se deve à necessidade de maior foco às tecnologias de Realidade Virtual, considerando restrições de tempo para a execução da pesquisa.

Na subetapa de elaboração do Plano de Pesquisa foi apresentado um cronograma para a execução das atividades a partir do projeto e desenvolvimento dos artefatos. Este cronograma foi submetido à banca de qualificação da presente tese em Abril de 2019. No planejamento inicial a conclusão da tese estava prevista para Julho de 2020, porém fatores externos se sobrepuseram às atividades de pesquisa, sendo o principal deles a pandemia do COVID-19, impactando em atrasos significativos na realização das atividades.

3.4.3 Proposição

A subetapa de Proposição teve apenas uma modificação, conforme mostrado no Quadro 21, que foi a inclusão de estudos empíricos iniciais visando um maior entendimento do pesquisador quanto às possíveis dificuldades, limitações e possibilidades a serem enfrentadas no desenvolvimento dos artefatos.

A subetapa de proposição visou consolidar as atividades de pesquisa já realizadas, juntamente com a definição de escopo, associada com a limitação de tempo indicada no Plano de Pesquisa e atividades experimentais iniciais. Essas últimas, no caso da presente pesquisa, efetivamente antes mesmo da execução das primeiras etapas do método de pesquisa, tendo como enfoque o estudo do desenvolvimento e aplicação de ferramentas em Mundos Virtuais para o desenvolvimento de competências. Decidiu-se manter cronologicamente esta subetapa, pois usualmente ela seria executada apenas nesse momento.

Quadro 21 - Subetapas da Proposição

Subetapa	Entregas
C.1 Realização de Estudos Empíricos Iniciais	Resumo dos estudos empíricos realizados
C.2 Proposição de Artefatos para resolver o problema específico	Proposição dos Artefatos

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são resumidos alguns experimentos realizados com uma das tecnologias de realidade virtual, o Mundo Virtual 3D, ou mais especificamente, a plataforma *OpenSimulator*. A maioria dos experimentos já foi publicada em revistas internacionais pelo presente autor, juntamente com colegas do grupo de pesquisa e professores do PPGIE.

O primeiro experimento realizado culminou na publicação do artigo “Learning Principles of Electricity Through Experiencing in Virtual Worlds”, de Herpich et al. (2017). O experimento foi construído utilizando como bases conceituais principais o aprendizado ativo e o aprendizado experiencial. Um dos laboratórios virtuais participantes da pesquisa foi desenvolvido pelo presente autor e é ilustrado na Figura 31. Neste laboratório foram propostos vários experimentos com circuitos elétricos resistivos, buscando além de desenvolver conhecimentos sobre assunto, desenvolver a competência de resolução de problemas através da utilização de elementos de PBL como *design* instrucional.

Figura 31 - Interação do Estudante com um Experimento sobre Circuitos Resistivos



Fonte: Herpich et al. (2017)

As questões de pesquisa buscaram nortear a identificação de qual a percepção dos usuários com o uso de laboratórios virtuais e se existiria alguma relação entre o conhecimento prévio do usuário com a forma pela qual os laboratórios virtuais e seus experimentos foram avaliados. A preocupação com tais questões remeteu a pesquisas anteriores que indicavam a importância da aceitação dos alunos a novos recursos tecnológicos.

Os autores da pesquisa, participantes do grupo de pesquisas AVATAR, buscaram lançar mão das algumas estratégias de ensino e aprendizagem já desenvolvidas pelo grupo para o desenvolvimento de MV, sendo algumas delas resumidas a seguir:

- utilização de multimídia: vídeos ou animação para explicar conceitos teóricos, disponíveis para o aluno visualizar no seu próprio celular através de “QR codes”, ou para visualização no próprio MV;
- disponibilização de oportunidades para testes de curta duração sobre o conteúdo, apresentados em painéis no MV;

- agentes conversacionais dotados de uma base de conhecimento sobre o conteúdo apresentados nos laboratórios e servem como guia para as atividades a serem executadas.

A conclusão da pesquisa, a partir do resultado da avaliação de 32 usuários universitários ou graduados, foi que a experiência com a utilização do ambiente virtual proposto foi agradável. Além disso, de acordo com as respostas dos usuários, os recursos existentes no MV pareceram úteis para o aprendizado. Finalmente, concluiu-se que existe grande potencial na utilização do agente conversacional, uma vez que vários usuários reportaram que interagiram com ele e o perceberam como sendo uma experiência agradável.

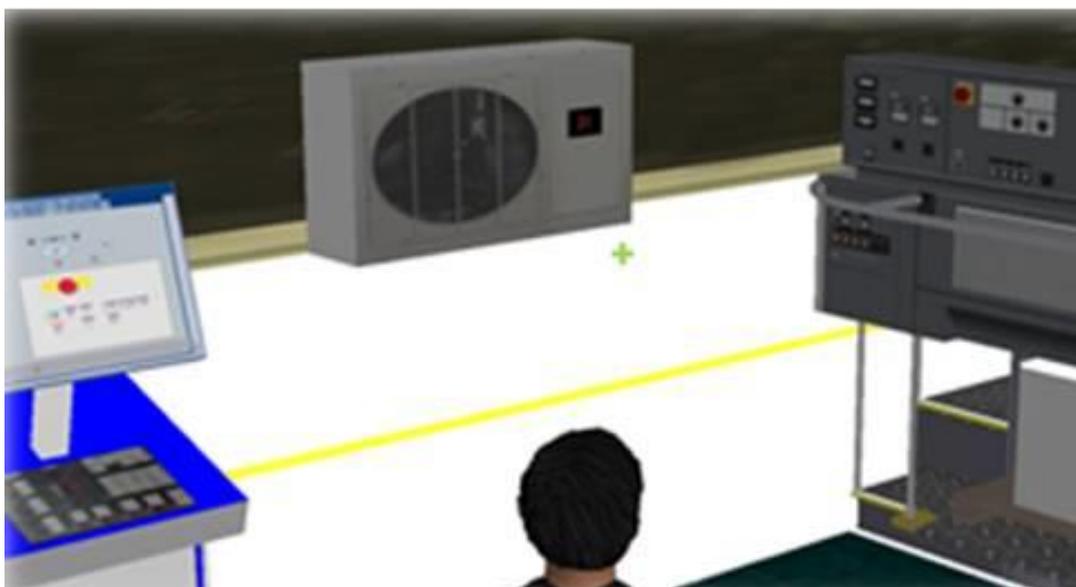
Na mesma linha da anterior, uma seguinte pesquisa avançou um pouco mais na avaliação da percepção dos usuários ao utilizar o MV e resultou na publicação “Initial Perception of Virtual World Users: A Study about Impacts of Learning Styles and Digital Experience”, de Krassmann et al. (2017). A pesquisa buscou avaliar se existia alguma relação entre o estilo de aprendizagem dos alunos, através do índice ILS (*Individual Learning Style*), com a percepção deles ao usar os recursos do MV, capturada através de questionários.

A pesquisa confirmou que usuários com determinados estilos individuais de aprendizado tendem a ter preferência por alguns tipos de recursos utilizados nos MV. Como conclusão, o trabalho sugere que ao projetar ambientes virtuais de aprendizagem, métodos de ensino e políticas pedagógicas, devem atender a procedimentos que considerem a natureza cíclica do aprendizado experiencial e assim criar oportunidades de aprendizagem de forma equilibrada para todos os estilos de aprendizagem.

Uma vez identificada a situação problemática da presente tese, buscou-se realizar experimentos com a utilização de MV para o desenvolvimento de competências para a área industrial. O primeiro experimento buscou explorar a utilização de MV para o desenvolvimento de competências na indústria gráfica, mais especificamente a resolução de problemas de impressão oriundos de uma máquina *offset*. A motivação do presente pesquisador para tal experimento foi o fato do mesmo ter tido a experiência em utilizar um simulador existente no mercado para o desenvolvimento de competências nesse tipo de equipamento, porém a interface do mesmo é 2D e, portanto, não imersiva, o que poderia resultar em algumas lacunas de aprendizado. O objetivo foi avaliar os potenciais benefícios em aprimorar o simulador existente, ao adicionar recursos disponíveis de MV através da plataforma *OpenSimulator*.

Na Figura 32 é ilustrada a parte do ambiente virtual que foi desenvolvido. No lado esquerdo da figura há uma mesa de comando remoto da máquina e à direita parte da máquina offset, a qual foi inserida no ambiente virtual a partir de um modelo 3D de uma máquina real. Este experimento ficou restrito à modelagem do acionamento de funções básicas da máquina, a partir do console central. Após o acionamento correto da sequência de botões pelo usuário, a máquina passa a funcionar no ambiente virtual, indicando algumas variáveis como a velocidade da máquina, além de uma imagem obtida de uma máquina real foi sobreposta em uma área de visualização do interior da máquina, proporcionando certo realismo ao ambiente. O usuário, representado através de um avatar, pode circular ao redor da máquina e visualizá-la em toda a sua extensão e todos os seus ângulos.

Figura 32 - Experimento voltado à Indústria Gráfica



Fonte: elaborada pelo autor

O experimento foi realizado com três profissionais da indústria gráfica, os quais possuíam experiência prévia em utilizar o simulador existente (2D), portanto já estavam familiarizados com o uso de tecnologia digital para a capacitação profissional. Foi consenso entre eles que o uso do MV traria alguns benefícios significativos no processo de ensino e aprendizagem, sendo que entre eles destaca-se a possibilidade do aluno ser capacitado num ambiente mais próximo do que ele vivenciará quando for utilizar máquinas reais, traduzindo-se numa curva de aprendizagem mais rápida.

Finalmente, um experimento final visou fazer uma avaliação inicial sobre os potenciais benefícios do MV para o desenvolvimento de competências associadas a boas

práticas de manuseio de produtos em uma indústria eletrônica. Foi modelada uma operação de inspeção de produtos, na qual devem ser tomados cuidados especiais relativos à descarga eletrostática (ESD). Além de modelar a operação real em uma das salas do ambiente virtual, foi desenvolvida outra contendo protótipos de alguns experimentos básicos de Física, relativos aos processos de eletrização por atrito, indução eletrostática e contato. O experimento consistiu num contato inicial com o MV por quatro usuários potenciais. A observação feita por eles corroborou estudos anteriores, os quais ressaltaram o grande potencial do MV como ferramenta de aprendizagem ativa como estímulo ao engajamento e para o desenvolvimento de competências aplicadas a situações reais. Outro aspecto positivo identificado pelos usuários foi a possibilidade de desenvolver a competência de identificação de processos fora do padrão esperado, antes mesmo de ter a exposição a operações reais. Como aspecto negativo, foi percebida uma dificuldade inicial dos usuários em navegarem no MV, o que impactou no tempo necessário para que os mesmos sentissem-se imersos no ambiente virtual com seus avatares.

Nesta etapa ainda foi definido o conjunto de artefatos desenvolvidos visando atender os objetivos previamente estabelecidos. Além da definição de quais serão os artefatos que constituirão o método proposto, a cada um deles foi atribuído um conjunto de requisitos e especificações. O ponto de partida foi associar os objetivos da pesquisa com os critérios preliminares para o suporte. Em seguida, os objetivos e os critérios preliminares foram alocados a grupos que possuem a mesma natureza, constituindo a definição dos artefatos. Percebeu-se que tal agrupamento ficou adequado utilizando como referência as fases ADDIE de *Design* Instrucional, abordadas no Capítulo 2. No Quadro 22 é mostrada uma visão geral dos artefatos a serem desenvolvidos e a relação deles com cada fase ADDIE.

No Quadro 26 podem ser vistos os requisitos alocados a cada artefato, além da relação com os objetivos da pesquisa. O artefato proposto é o método com um todo, com suas etapas e critérios gerais de aplicação. Foram alocados dois requisitos, o “R1”, oriundo do Objetivo Geral da Pesquisa e o “R2”, proveniente do “Critério Preliminar 1”. Ambos os requisitos são aplicáveis a todas as fases de *Design* Instrucional. Durante o desenvolvimento das ferramentas de suporte foram definidos e alocados requisitos adicionais, a partir do referencial teórico e dos experimentos realizados. O detalhamento do método proposto encontra-se no capítulo 4.

Quadro 22 - Artefatos Propostos e Requisitos Alocados

Artefato		Requisitos			
Ident.	Nome	Ident.	Descrição	Origem	Fase ADDIE
A1	A metodologia como um todo, contemplando suas etapas e critérios de aplicação	R1	A metodologia deverá possibilitar o desenvolvimento de competências profissionais associadas a operações de manufatura no contexto da Indústria 4.0	OG	Todas
		R2	A metodologia deve considerar pontos de decisão visando flexibilizar a metodologia para diferentes contextos e necessidades de aplicação.	CP1	Todas
A2	Ferramenta para identificação de competências necessárias no contexto de aplicação	R3	A metodologia deverá apoiar a identificação de quais as competências necessárias para natureza das de atividade incluídas no escopo da metodologia, relacionadas à Indústria 4.0, em uma organização específica.	CP2	Análise
		R4	A metodologia deverá permitir identificar quais as competências da indústria 4.0 são mais aplicáveis ao contexto de aplicação da metodologia em uma organização específica.	OE1	Análise
A3	Critérios para o projeto dos ambientes virtuais de aprendizagem	R5	Os paradigmas TWI e LF, caso sejam considerados aplicáveis ao escopo do método, deverão ser contemplados na metodologia de acordo com os benefícios estimados.	CP4	Projeto
		R6	Buscar a integração do programa TWI e o paradigma LF na metodologia proposta, da forma como se concluir que for mais aplicável.	OE2	
		R7	Deverão ser consideradas na metodologia as tecnologias de Realidade Virtual atualmente disponíveis, indicando em quais situações o seu uso é viável e vantajoso em relação ao uso de	CP5	
		R8	A metodologia deverá utilizar tecnologias de realidade virtual.	OG	
		R9	A metodologia deve estar embasada em um ou mais enfoques teóricos de ensino e aprendizagem, como forma de adequadamente sustentar o processo educacional envolvido.	CP3	
A4	Boas práticas para o desenvolvimento e implementação de ambientes virtuais de aprendizagem	R10	A metodologia deverá contemplar o fato de que os ambientes virtuais de aprendizagem devem ser desenvolvidos e implementados utilizando como base um mapeamento de boas práticas existentes.	CP7	Desenvolvimento
A5	Ferramenta para avaliação de competências de indivíduos no contexto de aplicação	R11	A metodologia deverá permitir a avaliação do nível de competência de pessoas em relação às competências necessárias no contexto de aplicação.	OE1	Avaliação
		R12	A metodologia deverá permitir a avaliação do nível das competências selecionadas de um aprendiz antes e depois da sua aplicação.	CP6	

Fonte: elaborado pelo autor

3.4.4 Geração de Artefatos

Na etapa seguinte, Geração de Artefatos, agrupou-se as três etapas relacionadas à abordagem científica dedutiva. As primeiras duas etapas, Projeto do Artefato e Desenvolvimento do Artefato são descritas no Capítulo 4.

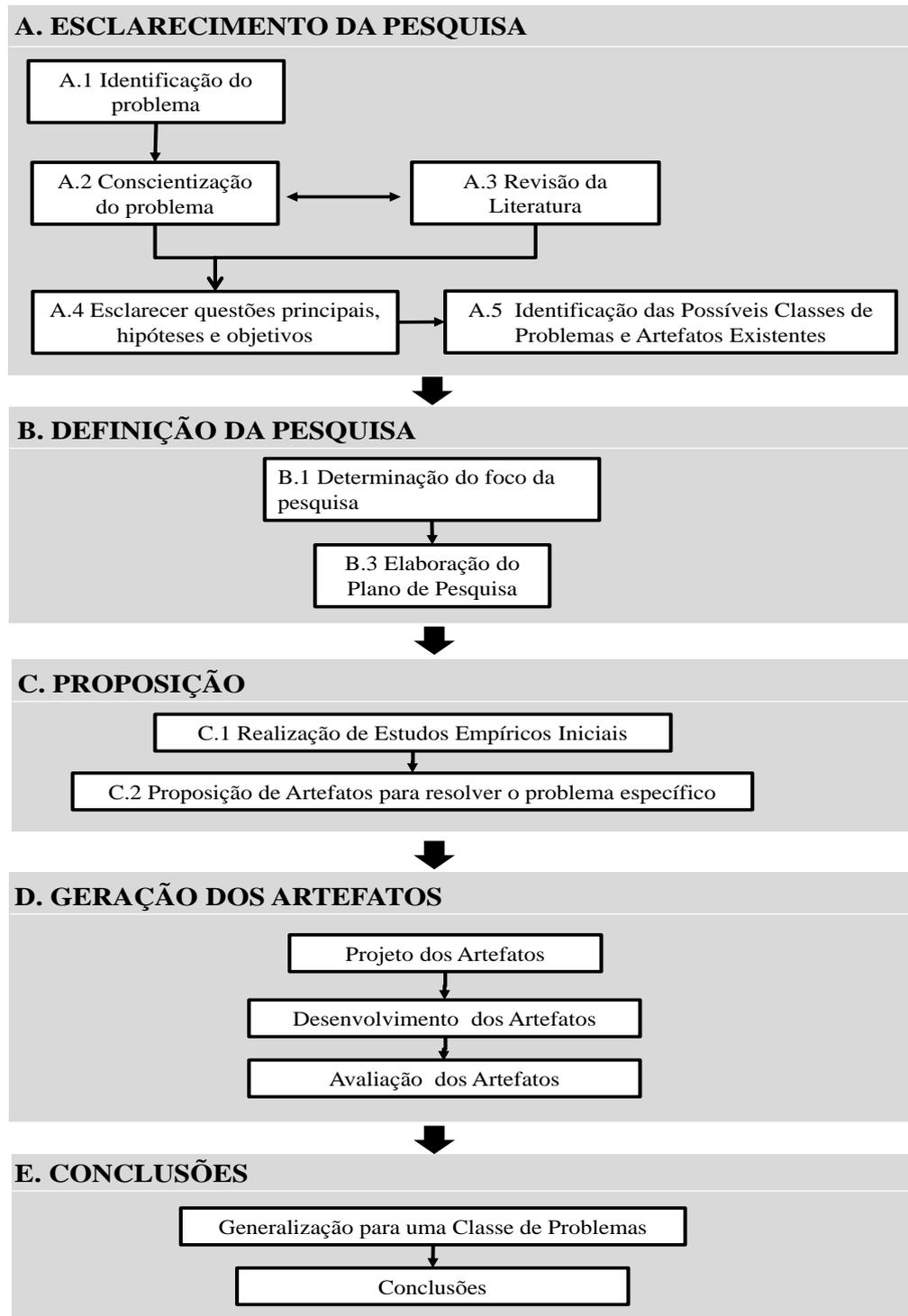
A avaliação do método, descrita no Capítulo 5, iniciou pela avaliação através de um painel de especialistas. Pela natureza da área de aplicação do método, foi decidido que o painel deveria contemplar especialistas da área industrial, com experiências em gestão, conhecimentos sobre tecnologias da Indústria 4.0 e sólida formação acadêmica. O questionário de avaliação, assim como os resultados da aplicação, é descrito no item 5.1. A segunda parte da avaliação consistiu na aplicação do método em si em uma organização. Considerando as limitações de tempo para aplicação de todo o método proposto, o mesmo foi aplicado e avaliado até a etapa de aplicação inicial. A terceira parte da avaliação foi feita a partir da experiência de alguns alunos ao realizar todos os exercícios no ambiente virtual.

3.4.5 Conclusão da Pesquisa

A última etapa proposta é a Conclusão da Pesquisa, englobando as últimas duas etapas do método de Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015): Generalização para uma Classe de Problemas e Conclusões. Foi eliminada a etapa final de Comunicação dos Resultados, visto

que tal atividade ocorrerá inexoravelmente através do próprio documento da tese e sua apresentação. Todas as etapas do método de trabalho adotado na presente pesquisa estão apresentados na Figura 33.

Figura 33 - Método de Trabalho da Presente Pesquisa



4. MÉTODO PROPOSTO

Neste capítulo da tese, apresenta-se a entrega principal da pesquisa, ou seja, o método para o desenvolvimento de competências para indústria 4.0, visando o atendimento do objetivo geral proposto. As etapas do método proposto são detalhadas e cada uma delas é desmembrada em passos para aplicação nas organizações. No Apêndice A é apresentado um fluxograma indicando todos os passos do método, incluindo pontos de decisão.

4.1 PREPARAÇÃO (ETAPA 1)

O método inicia na etapa de Preparação. Ela engloba algumas atividades necessárias para que a organização seja sensibilizada, mobilize seus recursos e esteja preparada para utilização da metodologia em si junto a processos operacionais. Seus passos, descritos a seguir, foram elaborados utilizando como base as etapas propostas por Gramigna (2002) para a implementação de modelos de gestão de competências e Mostafa, Dumrak e Soltan (2013) para implementação de novos métodos nas organizações.

4.1.1 Sensibilização (Passo 1.1)

Neste primeiro passo, o foco reside em envolver as pessoas-chave da organização e identificar, mesmo que de forma preliminar, eventuais preocupações e outras questões para o sucesso do método, levando em conta a sua estratégia de negócios e aspectos operacionais. É um processo que deve envolver reuniões e entrevistas, nas quais são apresentados os objetivos do método e são discutidos os potenciais benefícios e dificuldades relativos à sua adoção. Também devem ser discutidos aspectos práticos relacionados à preparação da equipe, áreas de maior potencial de utilização do método e cronograma.

O processo associado à utilização do método exige a participação de um líder de implementação, o qual é uma pessoa responsável por coordenar e programar os eventos necessários à colocação do método em prática. O líder pode ser um profissional existente no quadro da organização ou externo, e o seu papel assemelha-se ao que tem sido chamado por alguns especialistas como Francisco, Kugler e Larieira (2017), de líder da transformação digital. Pesquisadores como Westermann, Bonnet e MacAffé (2016) e Moker (2020) defendem que as organizações tenham no seu quadro de lideranças a posição de CDO (*Chief Digital Officer*).

A condução do método deve ser feita pelo líder, que deve estar familiarizado com o tema e conhecer o método. Considerando o papel inicial de sensibilização da organização, espera-se que o líder seja um entusiasta do tema e tenha boa capacidade de comunicação e

bom nível de empatia. Para apoiar o trabalho do líder, foi elaborado a Ferramenta de Suporte 2 (FS2), conforme Apêndice B, que consiste numa apresentação referencial, a qual contempla os seguintes tópicos:

- contexto da Indústria 4.0 e principais desafios;
- competências para Indústria 4.0 e a importância em desenvolvê-las;
- vantagens em utilizar realidade virtual para desenvolvê-las;
- etapas para implementação do Método e cronograma referencial;
- próximas atividades.

A utilização da FS2 pode ser útil para reforçar alguns conceitos e esclarecer como será a aplicação do método, preparando para as etapas posteriores. Como saída desse passo inicial, espera-se que a direção da organização tenha atingido um nível adequado de convencimento quanto aos benefícios relacionados à utilização do método. Como saídas secundárias, devem ser listadas as observações feitas pelos participantes da reunião, como fonte de entrada para os passos que seguem.

4.1.2 Avaliação do Contexto (Passo 1.2)

Nesse passo o objetivo é coletar informações para um adequado direcionamento de recursos nas etapas seguintes do método. Para a realização desse passo, devem ser feitas entrevistas com pessoas-chave da organização. Recomenda-se como ferramenta de apoio a utilização do questionário de avaliação de maturidade, conforme proposto por SENAI (2019a), previamente citado no item 2.1.3 da presente tese e disponível no Apêndice C. Em complemento a este questionário de avaliação devem ser respondidas algumas perguntas adicionais, também disponíveis no Apêndice C, para que se tenha uma avaliação mais completa do contexto da organização. Todas as perguntas constituem a Ferramenta de Suporte 3 (FS3).

A coleta de informações deste passo deve propiciar uma base para o estabelecimento de um entendimento sobre as características e necessidades da unidade de negócios no que tange às competências de seu pessoal. O líder deverá documentar as entrevistas e relatar as opiniões que emergem, propondo reflexões a respeito da discussão que se seguirá. Após o líder ter consolidado as diferentes interpretações quanto aos aspectos referentes à organização, ele deve promover uma reunião com a alta administração visando alinhar as diferentes percepções e construir um entendimento comum a respeito do tema.

Caso o resultado do instrumento de avaliação, obtido após a submissão das respostas, indique uma baixa maturidade, representada pelo modelo do SENAI (2019a) como um índice menor que três (níveis de maturidade de otimização ou sensorização e conectividade), recomenda-se planejar atividades de capacitação das lideranças da organização, visando garantir um maior suporte ao projeto de implementação, além de um maior entendimento sobre os conceitos de Indústria 4.0 para avaliação dos resultados.

A duração deste passo depende principalmente da disponibilidade das pessoas-chave para as entrevistas (primeira parte da FS2), para a utilização do instrumento de avaliação do grau de maturidade da organização e também para atividades de capacitação da liderança (se necessário) sendo que a recomendação é que ocorra em no máximo 3 meses, visando manter a prioridade da organização sobre o tema.

4.1.3 Formação e Avaliação da Equipe Multidisciplinar (Passo 1.3)

A execução deste passo pode iniciar logo após o passo 1.1, ou seja, em paralelo com o passo 1.2. A determinação da equipe passa por uma definição de quais disciplinas são necessárias para a adoção do método na organização. Os profissionais devem englobar as áreas do conhecimento relacionadas com o método, tais como Engenharia de Produção, Tecnologia da Informação e Educação Profissional. É importante considerar que uma grande parte do esforço da aplicação do método consiste na modelagem e desenvolvimento de aplicações em Realidade Virtual, desta forma recomenda-se fazer parte da equipe um ou mais profissionais aptos a aplicar as tecnologias definidas na Etapa 3, sejam eles internos ou externos à organização.

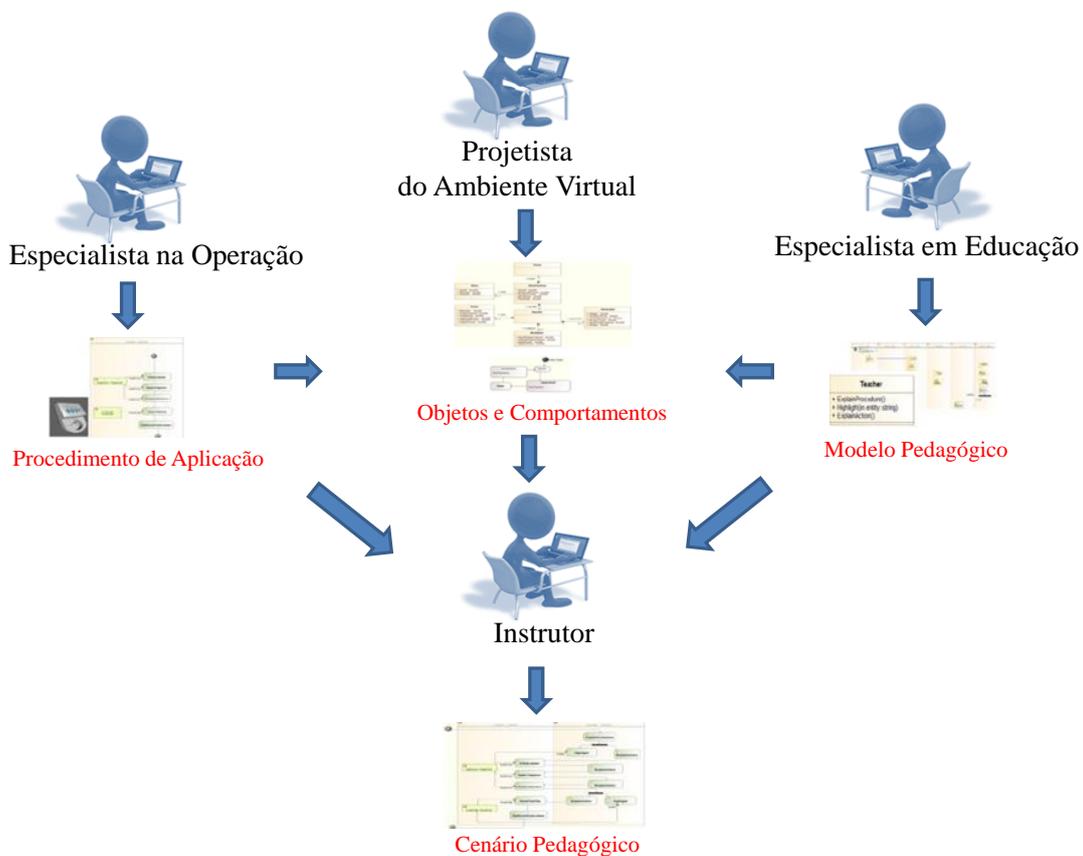
Em seguida, deve-se partir para a seleção dos profissionais para a formação da equipe. É recomendável, sempre que possível, selecionar profissionais-chave da própria organização. Se necessário, devem ser integrados um ou mais profissionais externos à organização para complementar a equipe em áreas inexistentes. Na Figura 34 e conforme explicado a seguir, pode ser vista a lista de funções mínimas que a equipe deve possuir, conforme recomendado por Saunier et al. (2016) para equipes de desenvolvimento de ambientes virtuais voltados à aprendizagem.

O especialista em educação é o responsável por apoiar a definição das ações pedagógicas que podem ser utilizadas para guiar ou corrigir o aluno no ambiente virtual, assim como as ações pedagógicas (sequência típica de ações, reações e interações com os objetos do sistema). Conforme descreve Saunier et al. (2016), estas ações são independentes

do domínio da aplicação, do ambiente tecnológico e das estratégias pedagógicas adotadas. Entretanto, elas dependem do tipo de ambiente de aprendizagem, por exemplo, simulações interativas.

Já o especialista na operação trata-se do profissional que conhece bem a atividade que necessita ser aprendida e que apoia na formalização da sequência de ações e interações com os objetos do ambiente. Este membro da equipe também descreve boas práticas e procedimentos que devem ser aprendidos e diferentes comportamentos dos objetos. Esta descrição é independente da plataforma de execução.

Figura 34 - Equipe de Implementação do Método



Fonte: adaptada de Saunier et al. (2016)

Outro membro importante na equipe é o projetista do ambiente virtual. Este deve criar os objetos e seus comportamentos no ambiente virtual, baseando-se nas especificações do especialista na operação, além de fontes como: objetos reais, fotos e bibliotecas contendo *scripts* do comportamento e a geometria dos objetos, se já existentes. O projetista também é o responsável por habilitar a instanciação do ambiente de aprendizagem, implementando a interface dos objetos virtuais e *scripts* com os papéis pedagógicos de diferentes participantes.

Finalmente, o último membro recomendado para a equipe é o instrutor, que deverá apoiar a definição dos cenários pedagógicos, incluindo a sequência de situações nas quais os alunos atuarão no ambiente virtual e os apoios pedagógicos que o sistema irá prover em tempo real. Para a definição dos cenários, Saunier et al. (2016) indicam a utilização dos seguintes elementos: o ambiente virtual e os objetos nele contidos (criados pelo projetista), as ações potenciais do aluno em relação aos objetos e as boas práticas (definidas pelo especialista na operação) e os modelos pedagógicos e ações pedagógicas (definidas pelo especialista em educação).

Cabe ressaltar que, embora os papéis anteriormente mencionados sejam descritos separadamente, alguns deles podem ser exercidos pelo mesmo profissional. Por exemplo, os papéis de especialista na operação e de instrutor. Naturalmente a equipe poderá vir a ter que ser redefinida ao longo do processo de utilização do método, devido a questões internas da organização, como mudanças nas responsabilidades dos membros da equipe, definições quanto às tecnologias a serem utilizadas ou devido a conclusões obtidas através do próprio método. Caso sejam identificadas lacunas significativas nas competências da equipe, as quais, segundo avaliação do líder, possam resultar em deficiências na aplicação do método, a metodologia propõe considerar as possibilidades indicadas no Quadro 23, de acordo com o tipo de lacuna identificado.

Quadro 23 - Ações Recomendadas para Fechar Lacunas na Equipe

Lacuna Identificada	Ação Recomendada
Lacunas significativas na equipe	Reajustar a equipe, buscando substituir ou incluir outros membros internos ou externos à organização.
Ausência de membros da equipe com as competências para desenvolvimento de aplicações em Realidade Virtual	Acrescentar um membro da equipe com as competências necessárias ou providenciar contratação externa.
Deficiências no entendimento dos conceitos básicos da Indústria 4.0	Capacitação da equipe através de métodos convencionais, como treinamentos presenciais ou à distância, como o oferecido gratuitamente pelo SENAI, chamado de “Desvendando a Indústria 4.0”.
Baixa disponibilidade de membros da equipe para realização das tarefas	Alinhamento de prioridades com a alta direção da empresa.

Fonte: Elaborado pelo autor

Outra questão a considerar é a importância do monitoramento da implementação do método através de um comitê ou grupo similar formado para tratar da supervisão da adoção de novas tecnologias e sistemas na organização. Recomenda-se que este grupo reúna-se pelo menos ao final de cada etapa do método para avaliar o seu progresso e eventualmente apoiar o fechamento de eventuais lacunas que a equipe de projeto identifique a necessidade de apoio externo para fechar. Sugere-se nomear um “*sponsor*” (patrocinador) do método, o qual deve ter uma posição de liderança sênior na organização.

4.1.4 Identificação de Necessidades e Oportunidades (Passo 1.4)

Este passo trata-se de um aprofundamento da Avaliação do Contexto (passo 1.2), propiciado através da participação da equipe multidisciplinar definida no passo 1.3. Inicialmente deve ser realizada uma reunião de trabalho com toda a equipe para alinhamento dos objetivos da metodologia e comunicação de um resumo sobre as conclusões obtidas no passo 1.2, em especial o resultado da avaliação do grau de maturidade da organização. Nessa reunião inicial também é sugerido estabelecer um planejamento preliminar das iterações ao longo da implementação de todas as fases da metodologia, por meio de encontros periódicos, preferencialmente realizados a cada semana ou quinzenalmente, de acordo com a fase de implementação, contendo objetivos pré-estabelecidos.

Para apoiar a identificação de necessidades e oportunidades deve ser feita uma análise sobre as respostas oriundas da FS2. Além de buscar respostas a questões previamente levantadas, é indispensável a realização de um trabalho de campo contemplando a participação dos membros da equipe multidisciplinar. A observação das linhas de produção existentes é o primeiro passo da fase de identificação de oportunidades. Para validar a percepção dos membros da equipe, se faz necessário que se procure observar uma amostra representativa das operações previamente selecionadas como estando potencialmente no escopo da implementação. Quanto maior o número de observados e mais aleatória for a seleção, maior a probabilidade de se criar uma percepção mais abrangente da operação. Quanto à forma de realizar a observação, deve-se procurar sempre interferir o mínimo possível na operação.

Após o preenchimento do questionário referente à segunda parte da FS2 e as observações em campo, a equipe deve se reunir uma ou mais vezes para buscar um consenso em relação às seguintes definições em relação ao escopo de implementação da metodologia:

- a. quais as ocupações específicas a desenvolver através da metodologia (ex.: operador de manufatura, técnico de montagem, inspetor da Qualidade, etc.);
- b. quais os processos operacionais específicos devem fazer parte da metodologia (ex.: equipamento “X”, célula de produção “Y”, etc.);
- c. relacionar as definições de a. e b. numa matriz de funções e operações que contemplarão o escopo de implementação;
- d. definir quais funções “X” operações (denominadas a partir daqui de posições), farão parte do piloto de implementação. Recomenda-se observar que a implementação piloto tenha no máximo 3 posições, por exemplo: inspetor de Qualidade da operação “X”, operador de manutenção da área “Y” e técnico de montagem da área “Z” .

O tempo necessário para a execução do passo 1.4 pode variar de acordo com fatores como o porte da organização, familiaridade e maturidade da organização com os temas envolvidos.

4.1.5 Elaboração de Cronograma Inicial de Implementação (Passo 1.5)

Ao finalizar a Etapa 1, uma vez definido claramente o escopo de implementação, deve ser elaborado um cronograma. É possível que algumas definições feitas nos passos anteriores tenham que ser revisitadas, buscando resolver eventuais conflitos entre recursos disponíveis e o cronograma desejado. Para que se tenha a clareza necessária em relação a essas definições, é necessário fazer uma estimativa do tempo de implementação de todo o método, incluindo as etapas relacionadas à modelagem da operação em realidade virtual, e obviamente definindo quais as premissas de recursos devem ser utilizadas. Ao final da Etapa 2, uma vez que definições adicionais serão tomadas, o Cronograma deverá ser atualizado.

4.2 DEFINIÇÃO DAS COMPETÊNCIAS (ETAPA 2)

Essa etapa visa definir quais as competências a desenvolver através do método proposto para as posições definidas na Etapa anterior, utilizando a Ferramenta de Suporte 3 (FS3), a qual contempla as competências-chave definidas para a Indústria 4.0, conforme escopo previamente definido através do método.

A FS3 foi desenvolvida utilizando como modelo conceitual o trabalho de Fahrenbach, Kaiser e Schnider (2019), através do qual os autores propuseram a associação entre o *framework* O*NET e a perspectiva por competências. Enquanto esta última enfoca a definição

de uma lista de competências necessárias para determinada função, a utilização do O*NET se deve ao detalhamento no descritivo das competências e seus níveis de importância por função, proporcionado por esta plataforma. Detalhes adicionais sobre o O*NET foram apresentados no Capítulo 2.

As tabelas relativas à FS3 estão no Apêndice D e os passos para a sua aplicação são detalhados a seguir.

4.2.1 Identificação de Competências-Chave (Passo 2.1)

O primeiro passo consiste em identificar, a partir das ocupações escolhidas na Etapa anterior, quais as competências-chave prioritárias devem ser desenvolvidas para cada uma das posições. A identificação das competências inicia pela verificação de em qual nível de HCG (Habilidade Cognitiva Geral) melhor se enquadra cada posição que se deseja desenvolver as competências entre os níveis indicados na FS3, tendo em vista a natureza das atividades realizadas na organização:

- HCG 1 (Operacional): atividades de natureza puramente operacional, as quais demandam conhecimento de baixa complexidade e cujas competências mais importantes são as relacionadas à habilidades manuais e outras de menor demanda cognitiva (ex.: montadores, operadores de processos repetitivos mais simples);
- HCG 2 (Operacional/Técnica): atividades operacionais que exigem um razoável grau de conhecimento técnico (ex.: inspetores, reparadores), podendo ser funções como de montadores em casos de processos que requerem a aplicação de conhecimentos técnicos (demandas cognitivas intermediárias entre o nível operacional e técnico);
- HCG 3 (Técnica): atividades pouco ou nada operacionais e que exigem conhecimentos técnicos especializados para a aplicação de procedimentos previamente estabelecidos;
- HCG 4 (Técnica/Engenharia): atividades de cunho técnico, mas que demandam um nível de julgamento e conhecimentos técnicos mais avançados (demandas cognitivas intermediárias entre o nível técnico e de Engenharia);

- HCG 5 (Engenharia): atividades relacionadas ao planejamento e projeto de produtos e processos, além de resolução de problemas complexos que demandam conhecimento mais avançado.

Na Tabela 1 da FS3 consta a lista das 84 ocupações selecionadas a partir de todas as 969 do banco de dados consultado da O*NET (2020). Estas foram selecionadas considerando o escopo da presente tese e foram relacionadas com os cinco níveis HCG mencionados.

A partir da identificação do nível HCG de cada uma das posições escolhidas para aplicar o método, o próximo passo é verificar os níveis de importância de cada competência de cada posição. A tabela 2 da FS3 indica, para cada HCG e competência, uma faixa de níveis de importância para cada competência de acordo com as ocupações catalogadas. Caso para uma determinada competência e ocupação a faixa de importância esteja contida toda no intervalo até 2,5, sugere-se não considerá-la como prioritária para a posição. Já se a faixa toda estiver toda contida no intervalo a partir de 2,5, é recomendado considerar como prioritária. Numa terceira situação, uma parte da faixa está abaixo e outra acima de 2,5 a inclusão da competência é opcional. Neste caso, recomenda-se fazer uma avaliação mais minuciosa considerando o contexto da organização.

4.2.2 Priorização das Competências-Chave por Posição (Passo 2.2)

A equipe designada na Etapa 1, através da orientação do líder deverá identificar quais os conjuntos de competências prioritárias, obtidas do passo 2.1, são aplicáveis para cada ocupação, tendo em vista a descrição da função de cada posição. Cabe ressaltar que não necessariamente uma posição operacional deve executar apenas atividades mais de cunho operacional, mas pode ser desejado que algumas atividades sejam de cunho mais técnico. Em outras palavras, deve ser feita uma análise crítica considerando o contexto da organização.

Reconhecendo a existência de um custo associado ao desenvolvimento de objetos de aprendizagem, seja devido a horas de desenvolvimento ou pelos custos de subcontratação, a organização deve realizar uma análise crítica adicional a respeito da necessidade de desenvolver cada uma das competências-chave selecionadas até o momento. Para uma determinada competência, por exemplo, pode ser mais vantajoso para a organização desenvolver determinada competência através de treinamentos clássicos, *Learning Factory* não virtual, ou outros meios. O presente método não preconiza nenhum artefato para a tomada de decisão, visto que são muitos os fatores envolvidos.

4.2.3 Definição de Metas para as Competências-Chave Escolhidas (Passo 2.3)

Uma vez selecionadas as competências que serão desenvolvidas através do método, a associação entre cada uma delas com cada posição selecionada da organização deverá ter um objetivo mínimo de competência definido, também chamado de proficiência mínima. Conforme detalhado no Capítulo 2, há várias formas de associar níveis e valores aos níveis de competência definidos como meta e avaliados. Para o adotou-se o conceito de escala de proficiência definido por Russo (2016), apresentado no Capítulo 2, na qual o nível zero deve ser atribuído a nenhuma competência e o nível máximo para especialista na competência. A escolha por tal escala de proficiência se deve ao fato desta já estar bastante difundida nas organizações e por sua simplicidade, facilitando a sua utilização. Além disso, a O*NET utiliza o mesmo conceito, e a partir da análise de especialistas, indicando os níveis de competências em uma escala de 0 a 7.

Dentro da escala de proficiência, deve ser definida a meta de competência (correspondente a “level”, no banco de dados O*NET) a partir da informação para cada ocupação. Por exemplo, para a competência 2.1, “Resolução de Problemas Complexos”, a tabela 2 do Apêndice D indica que para uma função de nível HCG 4 a meta de competência deve ser entre 4 e 5. A partir daí, estes valores devem ser utilizados como referência para definição da meta. Em alguns casos, em especial quando a faixa de metas é grande (maior que 2), sugere-se consultar a base de dados do O*NET para a ocupação específica, caso existente. Para apoiar a definição da meta para cada competência, deve ser utilizada a Tabela 3 do Apêndice D. Esta tabela indica as chamadas âncoras da escala de níveis, conforme explicado por O*NET (2020). De qualquer maneira, deve prevalecer o julgamento da equipe, considerando o contexto de aplicação do método.

Como resultado da aplicação da FS3, deve-se obter uma matriz conforme ilustrado no Quadro 24. Trata-se de uma matriz contendo as posições a desenvolver com o método, as competências a desenvolver nessas posições e o nível de proficiência mínimo para cada competência.

Quadro 24 - Matriz de Posições a Desenvolver

Função	Competência	Proficiência Mínima
F1	C1	P^{F1C1}
	C2	P^{F1C2}
	Cn	P^{F1Cn}
F2	C1	P^{F2C1}
	C2	P^{F2C2}
	Cn	P^{F2Cn}
Fm	C1	P^{FmC1}
	C2	P^{FmC2}
	Cn	P^{FmCn}

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 MODELAGEM DAS OPERAÇÕES (ETAPA 3)

O método prevê o desenvolvimento de um ambiente virtual contendo cada operação fabril que se pretende capacitar, contendo os mesmos tipos de produtos, se possível uma representação fiel dos produtos em 3D e permitindo com que as operações hoje existentes no mundo real sejam replicadas. Nessa modelagem inicial, o mundo virtual ainda não contemplará atividades didáticas, as quais serão desenvolvidas na próxima etapa, tendo como base a representação virtual das operações desenvolvida na presente etapa, incluindo o funcionamento básico (comportamento) de cada objeto virtualizado e suas principais interações entre outros objetos e os usuários.

Conforme descrito por Grajewski, Górski e Pandilov (2019), o componente mais importante do sistema de Realidade Virtual (RV) é a aplicação em RV, a qual deve ser compreendida como um programa executável completo. A principal tarefa dos desenvolvedores das aplicações de RV é criar um ambiente interativo 3D que proporcionará realismo e imersão aos usuários, assim como a interação com os elementos digitais.

Essa etapa pode iniciar logo após o término da Etapa 1, visto que algumas definições prévias sobre o ambiente da organização não dependem da finalização da Etapa 2. Nesta etapa deverá ser modelado em mundo virtual as áreas de trabalho relacionadas com as operações

escolhidas, nas quais pretende-se desenvolver as competências. O passo inicial é determinar exatamente o que deve ser modelado, nas seguintes dimensões: ambientes, processos e objetos.

As subetapas a seguir foram definidas utilizando como referência o processo de desenvolvimento para a criação de aplicações em RV proposto por Vergara, Rubio e Lorenzo (2017). Neste processo, antes do desenvolvimento propriamente dito, os autores sugerem a determinação dos objetivos, a decisão sobre o nível de realismo a adotar, a escolha do nível de interação a utilizar no ambiente e a escolha dos softwares e hardwares mais adequados. O fluxograma deste processo pode ser visto na Figura 35.

Figura 35 - Fluxograma Geral para o Desenvolvimento de Aplicações em RV



Fonte: adaptado de Vergara, Rubio e Lorenzo (2017)

4.3.1 Definição de Ambientes, Processos e Objetos a Virtualizar (Passo 3.1)

Na Etapa anterior foram definidas quais as posições que serão capacitadas utilizando a metodologia e em quais competências. Utilizando como base essas informações, nesse passo devem ser levantados dados sobre o ambiente de operação que se deseja modelar, as tarefas ou operações a modelar e os objetos a virtualizar no ambiente, assim como seus comportamentos e principais interações.

Inicialmente deve ser definido se os ambientes, operações e objetos devem ser uma réplica do que no momento existe na organização ou se devem ser baseados numa situação hipotética projetada. A razão para a seguinte opção refere-se a potencial necessidade da

organização em utilizar a metodologia para desenvolver as competências para operações ainda não existentes, inclusive com a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 que ainda não estão disponíveis na organização.

Para apoiar a definição de processos a virtualizar, o método propõe a utilização da abordagem baseada no conhecimento (*knowledge-based*), conforme sugerido por Górski (2017). Segundo o autor, em geral o conhecimento sobre os produtos e processos podem ser armazenadas nas seguintes formas: textos (descrições, definições, rótulos, dados numéricos, etc.), gráficos 2D (esquemas, desenhos, fotografias, diagramas, ilustrações, etc.), áudio (sons da operação, notificações, falas), modelos 3D (tipicamente modelos CAD) e animações (usualmente contidos nos modelos 3D). Além disso, segundo o mesmo autor, as seguintes relações lógicas entre os objetos devem ser definidas, quando aplicável: parâmetros para animação de objetos 2D e 3D (juntas e hierarquias), definição da sequência de operações (o que o usuário poderá fazer, passo a passo, e o que será visível durante a realização de cada passo) e definição das conexões lógicas entre os objetos.

Górski (2017) acrescenta que o conhecimento básico deve ser obtido antes de iniciar qualquer programação em RV. Os conhecimentos tácitos devem ser obtidos “como estão”, ou seja, devem ser obtidos de fontes básicas de conhecimento, como banco de dados da organização (procedimentos, especificações, arquivos de dados dos produtos, etc.) e de entrevistas com os funcionários.

4.3.2 Escolha das Tecnologias de RV (Passo 3.2)

Este passo do método trata-se da definição de quais as tecnologias de Realidade Virtual (RV), tanto de *software* quanto de *hardware*, conforme descritas no item 2.6, serão utilizadas para apoiar o desenvolvimento de competências através do método proposto. Estas definições serão utilizadas como base para o próximo passo, que contemplará a modelagem do ambiente virtual, dos objetos, de seus comportamentos e interações com o usuário, além de todas as interfaces do usuário com o ambiente em RV.

A escolha das tecnologias de RV a utilizar, entre tantas possíveis, deve considerar a relação delas com o resultado no desenvolvimento de competências e também, por outro lado, levar em conta os custos e esforços necessários para a implementação e manutenção do ambiente virtual. Obviamente essas definições não são simples, visto a grande quantidade de variáveis potencialmente envolvidas e as relações não lineares existentes entre elas. Não é um dos objetivos desta tese analisar o efeito de cada de tais variáveis no grau de aprendizagem,

mesmo assim, propõe-se o Artefato A5 para buscar apoiar a escolha das tecnologias a partir de pesquisas já realizadas.

Partindo da premissa básica que o desenvolvimento das competências é impactado pela escolha das tecnologias utilizadas, é importante levar em conta a relação entre cada competência a desenvolver e aspectos relevantes das tecnologias. Visando tornar mais palpável o potencial impacto de cada tecnologia, foram elencadas as seguintes características de RV, as quais são impactadas pela tecnologia escolhida em diferentes graus: imersão, realismo e interação, conforme item 2.5. Como exemplo, a utilização de uma tecnologia de RV que resulte em maior nível de imersão terá um impacto mais significativo no desenvolvimento de competências relacionadas a uma operação de montagem de um produto. Ao contrário, a competência de raciocínio matemático será pouco impactada através de uma tecnologia de RV imersiva (e ainda resultará em custos maiores de desenvolvimento).

Visando embasar a classificação dos níveis de tecnologia foi adotada a escala de 0 a 3, sendo “0” quando a tecnologia não for aplicada para a característica e “3” quando a tecnologia for aplicada no estado-da-arte. No Quadro 25 é apresentada uma descrição sobre cada um dos níveis para cada característica, sendo NREA o nível de realismo, NIME o nível de imersão e NINT o nível de interação.

Quadro 25 - Níveis de Tecnologia por Característica

Característica	Nível			
	0	1	2	3
Realismo (NREA)	- Sem qualquer compromisso com o realismo das imagens, física dos movimentos e <i>feedbacks</i>	- Pouco realista. -Diferenças significativas em relação aos objetos reais e a física dos movimentos.	- Médio realismo. - Diferenças pequenas, mas bem perceptíveis em relação à realidade, representando bem o mundo real	- Altamente realista - Gráficos renderizados com altíssima resolução - Feedbacks e físicas do movimento fidedignos
Imersividade (NIME)	- Imagens em 2D.	RV 3D Não-Imersiva - Dispositivos de saída: Monitor padrão de alta resolução - Dispositivos de Saída: <i>Mouse</i> , Teclado, <i>Joystick</i> e <i>trackball</i>	RV 3D Semi-Imersiva - Dispositivos de saída: Monitores de grandes dimensões e sistemas de projeção - Dispositivos de Saída: <i>Joystick</i> , <i>space ball</i> e luvas de dados	RV 3D Imersiva - Dispositivos de saída: <i>Head-mounted display</i> (HMD) e <i>Caverna</i> (<i>Cave</i>) - Dispositivos de Saída: Luvas de dados e comandos de voz

Interação (NINT)	- Nenhuma interação - Aluno fica passivo, apenas observa e escuta.	- Pouca interação - Aluno interage de forma bastante limitada, como respondendo perguntas.	- Média interação. - Aluno assume o papel de um avatar e comanda as interações com os objetos virtuais, porém de forma limitada.	- Altamente interativo. - Aluno assume o papel de um avatar e comanda as interações com os objetos virtuais, inclusive com dispositivos táteis.
---------------------	---	---	---	--

Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira parte da Ferramenta de Suporte 5 (FS5), localizada no Apêndice E, é utilizada para apoiar a definição das tecnologias de RV, trata-se da utilização da tabela 1, contendo relações entre as competências a desenvolver e os níveis de proficiência desejados e propiciados pela tecnologia, sendo que os níveis são desdobrados em três grupos: nível de realismo, nível de imersão e nível de interação. O resultado desta inter-relação entre variáveis terá um dos seguintes resultados:

- negativa (representada por “-“ na tabela): a utilização deste nível para a tecnologia (imersão, realismo ou interação) estaria aquém do recomendado para o nível de proficiência desejado para a competência;
- mínima (representada por “<“ na tabela): a utilização deste nível para a tecnologia (imersão, realismo ou interação) atende o mínimo recomendado para o nível de proficiência desejado para a competência;
- superior (representada por “+“ na tabela): a utilização deste nível para a tecnologia (imersão, realismo ou interação) está além do mínimo recomendado para o nível de proficiência desejado para a competência e nada contribui a mais para o desenvolvimento da competência;
- melhor (representada por “***“ na tabela): a utilização deste nível para a tecnologia (imersão, realismo ou interação) está além do mínimo recomendado para o nível de proficiência desejado para a competência e potencialmente contribui mais para o desenvolvimento da competência.

Para utilizar a primeira parte da FS5 inicialmente deve ser selecionado para cada função e competência na tabela 1, a partir dos níveis de proficiência mínimo identificados na etapa anterior do método. Como resultado, deve-se montar uma nova matriz contendo as

funções e competências aplicáveis, assim como as relações com cada nível mínimo de tecnologia, como no Quadro 26 e exemplificado no Quadro 27.

Quadro 26 - Matriz de Requisitos de Tecnologia

Função (F)	Competência (C)	Proficiência Mínima (P)	Níveis das Características da Tecnologia		
			Realismo (Re)	Imersão (Im)	Interação (It)
F1	C1	P^{F1C1}	Re^{F1C1}	ImP^{F1C1}	ItP^{F1C1}
	C2	P^{F1C2}	Re^{F1C2}	ImP^{F1C2}	ItP^{F1C2}
	Cn	P^{F1Cn}	ReP^{F1Cn}	ImP^{F1Cn}	ItP^{F1Cn}
F2	C1	P^{F2C1}	ReP^{F2C1}	ImP^{F2C1}	ItP^{F2C1}
	C2	P^{F2C2}	ReP^{F2C2}	ImP^{F2C2}	ItP^{F2C2}
	Cn	P^{F2Cn}	ReP^{F2Cn}	ImP^{F2Cn}	ItP^{F2Cn}
Fm	C1	P^{Fm2C1}	ReP^{Fm2C1}	ImP^{Fm2C1}	ItP^{Fm2C1}
	C2	P^{FmC2}	ReP^{FmC2}	ImP^{FmC2}	ItP^{FmC2}
	Cn	P^{FmCn}	ReP^{FmCn}	ImP^{FmCn}	ItP^{FmCn}

Fonte: Elaborado pelo autor

No exemplo hipotético do Quadro 27, foram elencadas duas funções, sendo que para a função F1 foram selecionadas três competências a desenvolver e para a função F2 foram quatro. Cada nível de proficiência mínima desejado para cada competência e função foi identificado e a partir daí foi possível obter todos os níveis mínimos de realismo, imersão e interação.

Esse exemplo ilustra uma situação que pode ser bastante comum, que é a grande variação dos níveis demandados de determinada característica da tecnologia. Por exemplo, o nível de realismo apresenta valores de 1 a 3. Esse fato por si indicaria que a tecnologia a ser utilizada para capacitação, a ser escolhida no próximo passo do método, deveria atender ao nível 3 de imersão. Porém cabe uma ressalva: tal conclusão é válida apenas no caso desse exemplo para a competência C4 da função F2. Em outras palavras, a organização poderia tomar a decisão de escolher uma tecnologia que não exigisse esse nível de imersão e assim

decidir não utilizar o método para desenvolver essa competência. Ou ainda teria outras opções: desenvolver essa competência com a tecnologia em nível 2 de imersão mas tendo consciência de que ela não seria desenvolvida até o nível de proficiência desejado, ou utilizar uma tecnologia de nível 3 apenas para essa função específica. Como resultado desse processo iterativo as proficiências mínimas para cada competência podem vir a ser ajustadas às tecnologias que forem adotadas.

Quadro 27 - Exemplo de Matriz de Requisitos de Tecnologia

Função	Competência	Proficiência Mínima	Níveis Mínimos Demandados de Tecnologia		
			Realismo	Imersão	Interação
F1	C1	4	2	2	2
	C2	2	0	2	1
	C3	3	3	2	1
F2	C1	5	3	3	3
	C2	4	2	2	2
	C3	3	2	2	2
	C4	4	2	3	2

Fonte: Elaborado pelo autor

A segunda parte da FS5 refere-se ao seu objetivo central, ou seja, a escolha das tecnologias específicas para atender os requisitos identificados. Para suportar a escolha das tecnologias, propõe-se utilizar duas tabelas: uma que relaciona os requisitos de tecnologia e algumas plataformas de software existentes (Tabela 2) e outra que relaciona as tecnologias de hardware com os requisitos de tecnologia (Tabela 3). Na Tabela 2, para cada plataforma de software são indicadas quais as tecnologias de hardware suportadas e informações sobre o custo de desenvolvimento. Na Tabela 3, para cada tecnologia de hardware é indicada uma faixa de investimento estimado por dispositivo utilizado pelo usuário (aluno). As horas necessárias para o desenvolvimento e manutenção do sistema podem variar dependendo da experiência da organização com a tecnologia (e eventualmente a experiência do fornecedor externo que participa da implementação).

A tomada de decisão a respeito das tecnologias envolve relações custo-benefício. Neste sentido, sugere-se que a aplicação da FS5 seja feita de forma iterativa, iniciando pela identificação dos requisitos de tecnologia e em seguida a verificação dos esforços para implementação e a partir daí comparando com outras combinações de escolhas, como a da condição mínima indicada (não a de mínimo desempenho, mas aquela indicada como a que possui pelo menos todas as variáveis relacionadas a RV classificadas como mínima (identificadas como “◇” na Tabela 1 da FS5).

4.3.3 Modelagem (Passo 3.3)

O detalhamento do passo de modelagem foi baseado principalmente na pesquisa de Grajewski et al. (2015), na qual os autores propuseram uma metodologia para a criação de um ambiente de trabalho virtual para aplicações voltadas à capacitação profissional. Os estágios para o desenvolvimento da modelagem podem ser vistos na Figura 36.

Figura 36 - Estágios da Modelagem



Fonte: adaptado de Grajewski et al. (2015)

O primeiro estágio da modelagem, denominado Preparação para Visualização, consiste basicamente da transferência dos dados digitais, ou seja, a conversão de arquivos de imagens (modelos 3D de objetos) e sons para formatos compatíveis com a plataforma de desenvolvimento escolhida no passo anterior, então disponibilizá-los no ambiente virtual. Usualmente os formatos de figura mais utilizados são os CAD 3D. De acordo com Górski (2017), a maioria dos ambientes de programação de aplicações em RV (como *Unity 3D* e *EON Studio*), possuem mecanismos de importação e conversão de imagens, texto e áudio.

Em seguida, os passos deste estágio são: aplicação de texturas apropriadas nos objetos e aplicação de outros elementos visuais, tais como, sombras e iluminação, visando um maior nível de realismo, caso o ambiente virtual não as gere automaticamente. As tarefas finais são a definição de hierarquia de objetos e finalmente devem ser definidos parâmetros de navegação no cenário virtual, caso não sejam pré-estabelecidos no ambiente.

Figura 37 - Estágio de Preparação da Visualização



Fonte: adaptado de Grajewski et al. (2015)

O estágio seguinte do desenvolvimento do ambiente em RV chama-se Programação da Interação. O objetivo é programar os comportamentos dos objetos virtuais, incluindo a interação com outros objetos e com os usuários. Por exemplo, o resultado da seleção pelo usuário de algum objeto virtual através do mouse do computador. Outro exemplo: o resultado da interação entre um objeto virtual ao colidir com outro, incluindo a física do movimento, deformações, etc. Os passos sugeridos estão indicados na Figura 38: planejamento da animação, a definição de mudanças na aparência dos objetos virtuais, a definição de sensores que atuarão nos objetos, a definição de lógicas envolvidas e finalmente a combinação entre os sensores e as ações programadas.

Em algumas plataformas de Mundo Virtual, algumas interações são previamente programadas, como no visualizador *Singularity* do Mundo Virtual *OpenSim*, cabendo ao programador pequenos ajustes de parametrização. Já a programação de outras plataformas requer o uso de métodos tradicionais de programação, através de linguagens como *Python*, *C++* e *Visual Basic*.

Figura 38 - Estágio de Programação da Interação



Fonte: adaptado de Grajewski et al. (2015)

O próximo estágio do desenvolvimento da aplicação em RV consiste na criação da GUI (*Graphical User Interface*, a interface gráfica com o usuário), contemplando desde as

tradicionais interfaces como dispositivos de entrada (*mouse*, teclado), até sistemas avançados de rastreamento dos movimentos do usuário. A GUI deve ser intuitiva e permitir uma fácil inicialização de todas as funções necessárias do modelo virtual. Em aplicações em que se espera que o usuário se movimente num ambiente 3D, usualmente são utilizados interfaces 3D, onde botões, chaves seletoras, etc. adquirem a forma de objetos sólidos 3D com zonas de colisão bem definidas no ambiente virtual. Estes objetos podem ser representados tanto no ambiente virtual, quanto utilizados no mundo real para que o usuário tenha uma sensação tátil mais realista.

Conforme ilustrado na Figura 39, os primeiros dois passos propostos para criação da GUI são o planejamento e a implementação da interface gráfica. O terceiro passo é denominado conexão dos equipamentos de GUI e interação.

Figura 39 - Estágio de Implementação da Interface



Fonte: adaptado de Grajewski et al. (2015)

O passo final do estágio de implementação da Interface é a execução de testes de verificação. Devem ser feitos vários testes prevendo diferentes posições e possibilidades de interação no ambiente virtual. Ajustes naturalmente podem ser necessários, como no modelo em 3D, em ajustes finos nos parâmetros de resposta das interfaces, etc. Grajewski et al. (2015) recomendam dar ênfase aos seguintes pontos: a geometria dos modelos 3D usados na simulação, a operação correta do GUI, a funcionalidade da aplicação em RV como um todo e a funcionalidade com os equipamentos específicos de RV, se utilizados.

4.3.4 Validação da Modelagem (Passo 3.4)

O estágio final da modelagem consiste na sua validação através da utilização da aplicação em RV através dos usuários. De acordo com a Figura 40, o primeiro passo recomendado é escolher os usuários para fazer a avaliação. Os selecionados devem ser representativos de futuros usuários do sistema, contemplando os papéis de instrutores e

alunos. Uma vez que nessa fase do desenvolvimento ainda não foram desenvolvidos os elementos didáticos do ambiente virtual, deve ser comunicado claramente aos usuários selecionados quais os objetivos dessa validação, em outras palavras, quais os aspectos devem ser observados. Esses objetivos, conforme anteriormente definido, podem ser resumidos como segue:

- navegação no cenário: facilidade, fidelidade à movimentação em comparação com o mundo real;
- completude: contém cada operação fabril que se pretende capacitar, contendo os mesmos tipos de produtos. Pode ser réplica da situação atual ou novo ambiente hipotético, conforme projeto;
- comportamento dos objetos: funcionamento básico de cada objeto virtualizado e suas principais interações entre outros objetos e os usuários;
- nível de realismo, imersão e interação: conforme descrito no item 2.5.

Figura 40 - Estágio de Validação da Modelagem



Fonte: elaborada pelo autor

O próximo passo consiste numa capacitação básica dos usuários sobre a utilização do ambiente virtual. Esta capacitação pode ser realizada com os usuários selecionados num mesmo evento que o passo anterior e visa eliminar variáveis alheias aos objetivos da validação, por exemplo, para evitar que dúvidas sobre como utilizar a aplicação em RV não impactem negativamente na percepção dos usuários. Finalmente os usuários selecionados deverão experimentar livremente a aplicação em RV e devem ser coletadas informações sobre a experiência dos mesmos.

A partir da realimentação pelos usuários, a equipe de implementação deve avaliar e definir eventuais necessidades de modificações na aplicação em RV. A avaliação de pontos a melhorar pode incluir a realização de testes adicionais com outros usuários ou mesmo com membros da equipe de implementação.

4.4 CONSTRUÇÃO INSTRUCIONAL (ETAPA 4)

Nessa etapa reside o projeto, desenvolvimento e implementação do *design* instrucional. Devem ser desenvolvidas as atividades didáticas no ambiente virtual já construído e validado anteriormente. O design instrucional foi desenvolvido como base nos passos gerais do modelo ADDIE e alguns detalhamentos dos modelos de Dick e Carey e de Kemp, Morrison e Ross, descritos no item 2.3. As subetapas descritas a seguir descrevem a aplicação do design instrucional até a etapa de desenvolvimento instrucional, sendo que a etapa de aplicação é descrita no item 5.

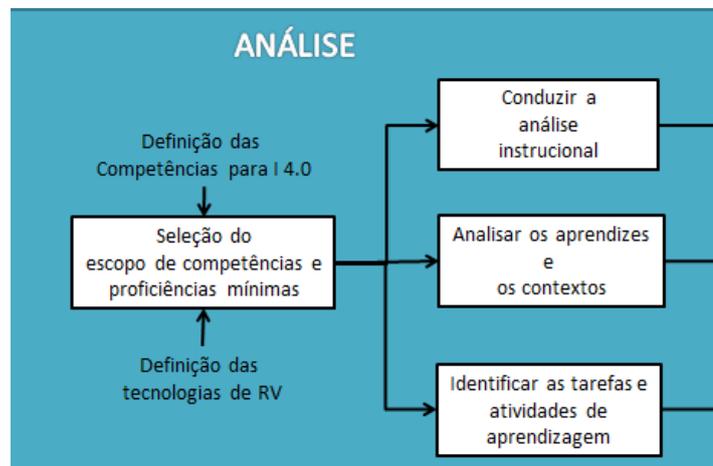
4.4.1 Análise Instrucional (Passo 4.1)

O design instrucional inicia com a análise do contexto de aprendizagem, incluindo entre outros aspectos quais competências desenvolver através do método e quais as tarefas associadas ao trabalho para as funções selecionadas. Cada um dos passos desta etapa inicial é descrito a seguir.

O primeiro passo consiste em utilizar os dados obtidos na FS4 e revisá-los a partir da decisão tomada em relação às tecnologias de RV adotadas. Na prática, significa revisar os dados do FS4 considerando eventuais restrições quanto às tecnologias num cenário de uso futuro. Por exemplo, dentre todas as funções e competências definidas para desenvolver com o método, uma determinada competência requer a utilização de uma tecnologia de RV que requer maior nível de imersão para desenvolver esta competência no nível de proficiência desejado. A decisão pode ser não desenvolver esta competência através do método ou aceitar um nível de proficiência mais baixo a ser desenvolvido pelo método, necessitando portanto complementação posterior através de capacitações tradicionais.

O próximo passo prevê executar algumas atividades que visam identificar mais profundamente o contexto de aplicação das competências e de que forma elas traduzem-se nas atividades operacionais da organização. Estas atividades podem ser executadas em paralelo, conforme ilustrado na Figura 41.

Figura 41 - Etapa de Análise Instrucional



Fonte: Elaborada pelo autor

A condução da análise instrucional, conforme definem Dick e Carey (1996) consiste em mapear o estado atual das competências dos alunos e através dessa avaliação identificar lacunas de aprendizado em relação às metas de proficiência previamente estabelecidas. Essa avaliação deve ser feita através de entrevistas, observação e testes específicos, dependendo da competência e da função avaliada. A análise dos aprendizes e contextos pode ser realizada nas mesmas oportunidades de interação com os aprendizes e outras pessoas da organização, embora o foco seja distinto. Nesse último caso, busca-se entender algumas características dos aprendizes, tais como comportamentos, potenciais dificuldades, motivadores e outros fatores que podem contribuir no projeto instrucional.

Outra atividade importante da fase de análise instrucional é a identificação das tarefas associadas às operações e às competências de domínio que precisam ser desenvolvidas para cada uma delas. Essa atividade começa com a repartição do trabalho, termo do inglês *job breakdown* como proposto pelo método TWI no seu pilar instrução de trabalho (*job instruction*). Em outras palavras, trata-se de identificar para cada operação a ser executada, a sequência de tarefas necessárias e associar as competências de domínio referentes a cada função para tais tarefas. Para as competências que não são de domínio (pessoais, metodológicas, e “digitransacionais”), deve-se analisar para cada competência se as tarefas associadas às operações contribuem para o desenvolvimento das competências e em que grau. O resultado da análise poderá indicar que algumas competências não poderão ser desenvolvidas até a meta de proficiência simplesmente através da execução das tarefas no ambiente virtual. Esta situação será abordada em seguida no Projeto Instrucional.

4.4.2 Projeto Instrucional (Passo 4.2)

O projeto instrucional consiste em planejar as experiências virtuais sob as quais os alunos serão submetidos e interagirão ativamente. Em outras palavras, ele deve traduzir o resultado da análise instrucional em requisitos técnicos que serão utilizados para o desenvolvimento instrucional da próxima etapa. O projeto instrucional deverá seguir o modelo de estratégia instrucional proposto, o qual é descrito no tópico a seguir.

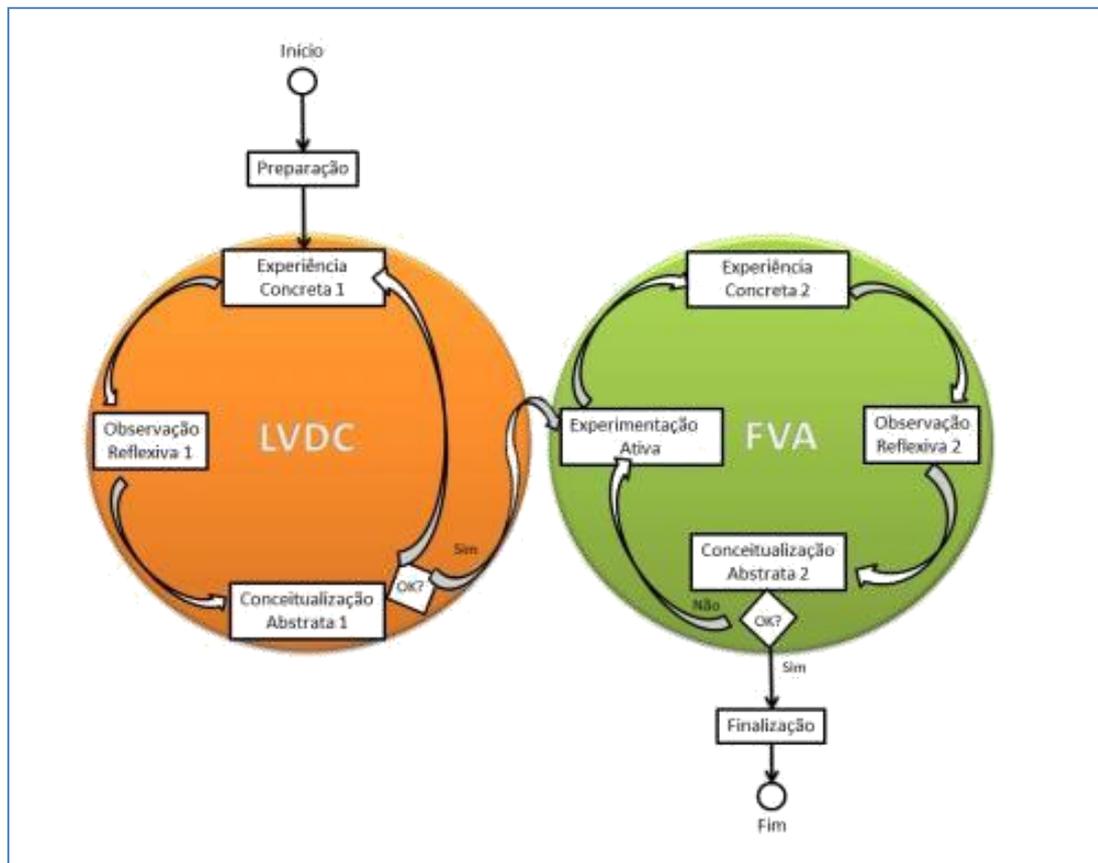
4.4.2.1 Modelo de Estratégia Instrucional

O modelo de estratégia instrucional desenvolvido está representado na Figura 42. Ele prevê uma etapa inicial de preparação, onde devem ser contempladas atividades que visam a capacitar os alunos para o ambiente virtual, através de atividades práticas no próprio ambiente virtual. O tempo de realização dessas atividades dependerá da experiência prévia do aluno no uso de ambientes virtuais como os que forem implementados, assim como a sua familiaridade com recursos computacionais. Recomenda-se a elaboração de exercícios específicos para garantir que eventuais dificuldades do aluno quanto à utilização dos recursos de realidade virtual sejam eliminadas a ponto de não impactar significativamente no aprendizado do aluno ao utilizar o ambiente virtual.

Os primeiros elementos instrucionais do modelo quanto às competências que se pretende desenvolver devem residir no LVDC (Laboratório Virtual para Domínio Cognitivo). Trata-se de um laboratório virtual para levar a cabo os estágios iniciais do Ciclo de Aprendizagem Experiencial (Ciclo de Kolb), visando desenvolver o domínio cognitivo da situação: “Experiência Concreta 1”, “Observação Reflexiva 1” e “Conceptualização Abstrata 1”. Nesta ambientação, o foco do laboratório virtual, conforme detalhado no item 2.5 desta tese, está em desenvolver nos alunos o entendimento dos fenômenos associados ao conteúdo a ser desenvolvido, além de contribuir para desenvolver algumas das competências priorizadas na etapa do método, conforme descrito no item 4.2.2.

As experiências instrucionais do LVDC iniciam com uma ou mais experiências concretas (“Experiência Concreta 1” do modelo). Neste contexto, são experimentos que visam desenvolver a cognição do aluno para o entendimento dos fenômenos envolvidos com o conteúdo. Por exemplo, se as competências a desenvolver envolvem o conhecimento do processo de soldagem industrial, devem ser desenvolvidos experimentos virtuais para que o aluno entenda o processo de soldagem e suas principais variáveis. A profundidade do conteúdo dependerá do nível de proficiência necessário para a competência envolvida.

Figura 42 - Modelo de Estratégia Instrucional



Fonte: Elaborada pelo autor

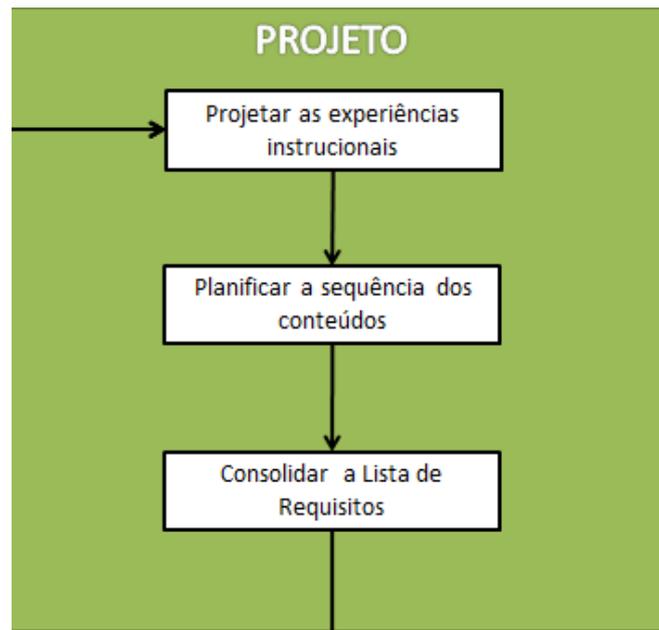
A partir das diferentes interações possibilitadas aos alunos, ao utilizar cada experimento estes já poderão em seguida realizar a observação reflexiva, buscando entender os efeitos de cada ação tomada no ambiente virtual. Como estímulo para observação reflexiva, e também para possibilitar a utilização de instrumentos de avaliação, devem ser elaboradas situações-problema, utilizando como base os conceitos de PBL (*Problem Based Learning*), citado no item 2.2.3. Os alunos, ao se sentirem instigados a resolver problemas, buscarão entender os fenômenos através da interação com os experimentos de laboratório. Isto também poderá ser útil para desenvolver uma das competências-chave da Indústria 4.0: a resolução de problemas complexos.

O segundo principal elemento do modelo é a FVA (Fábrica Virtual para Aprendizagem), que consiste numa réplica do ambiente fabril da organização para levar a cabo a primeira execução do estágio de “Experimentação Ativa” do Ciclo de Kolb, onde os alunos serão estimulados a aplicar o que aprenderam anteriormente no LVDC e então seguirão num novo ciclo de aprendizagem, reiniciando no estágio de “Experiência Concreta”.

4.4.2.1 Passos do Projeto Instrucional

Os passos gerais para a elaboração do projeto instrucional podem ser vistos na Figura 43.

Figura 43 - Etapa de Projeto Instrucional



Fonte: Elaborada pelo autor

O primeiro passo é basicamente projetar todas as experiências instrucionais no ambiente virtual do LVDC e no FVA a partir dos objetivos de aprendizagem previamente definidos na etapa anterior. Adicionalmente às experiências instrucionais, no primeiro passo também devem ser projetadas algumas ferramentas que podem contribuir em aspectos do aprendizado como o engajamento dos alunos, na facilitação da interação com o ambiente virtual e na avaliação dos alunos e dos objetos de aprendizagem. No Apêndice F é apresentada a Ferramenta de Suporte 5 (FS5), como um guia para determinação de em que situação utilizar algumas dessas ferramentas auxiliares que têm sido adotadas no projeto de ambientes virtuais.

Ainda no primeiro passo, devem ser projetadas as avaliações a serem conduzidas no ambiente virtual. Conforme descrevem Reiners, Gregory e Dreher (2011), a vantagem de fazer avaliações em ambientes virtuais é que os alunos podem ser submetidos a tarefas autênticas de avaliação em situações projetadas e adaptadas a eles. Neste sentido, a realização das tarefas autênticas de forma virtual deve constituir-se na principal forma de avaliação.

Outras formas de avaliação incluem: exercícios realizados no LVA e questionários de avaliação (*quizzes*).

Para apoiar a definição de quais instrumentos de avaliação adotar para cada competência a desenvolver, são apresentadas algumas diretrizes na Ferramenta de Suporte 6 (FS6). Na FS6 são apresentadas três classificações diferentes para cada instrumento de avaliação associado a cada competência:

- “Sim”: é fortemente recomendado avaliar a competência através do instrumento de avaliação;
- “Facultativo”: deverá ser avaliado caso a caso, sendo opcional a utilização do instrumento de avaliação para a competência;
- “Não aplicável”: o instrumento de avaliação não se aplica à competência.

Embora esteja fora do escopo da presente tese, cabe mencionar que alguns instrumentos de avaliação complementares podem ser úteis para a identificação do nível de engajamento e o estado de *flow* dos alunos, como nas pesquisas de Tibola e Tarouco (2018) e Carvalho (2018).

Uma vez que todas as atividades virtuais e competências associadas forem definidas e projetadas, o segundo passo do projeto instrucional é planificar a sequência de conteúdos, ou seja, definir, a partir do uso do modelo de estratégia instrucional, qual a sequência mais indicada, se houver, para a execução das atividades pelos alunos no ambiente virtual. Essa definição será útil tanto para o desenvolvimento de instruções para os alunos acessarem o ambiente virtual, quanto à programação da sequência de atividades de forma automática.

O terceiro passo do projeto instrucional é consolidar todas as especificações do projeto instrucional numa lista de requisitos, contendo cada um deles um número e uma descrição. Esta lista deverá compor uma matriz de requisitos técnicos, conforme Quadro 28. Quando aplicável, cada requisito deverá ser associado a uma atividade, as competências que a implementação associada ao requisito deverá ter a capacidade de desenvolver e o nível de proficiência que cada competência e a(s) tecnologia(s) associada(s) ao requisito.

Quadro 28 - Matriz de Requisitos para Implementação

Requisito		Atividade Associada	Competência(s) Associada(s)
Numero	Descrição		
R1	RD1	A1	CR1
R2	RD2	A2	CR2
Rn	RDn	An	CRn

Fonte: elaborado pelo autor

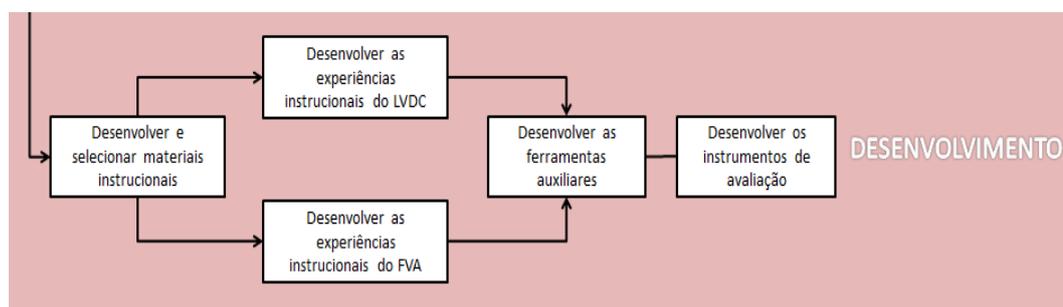
4.4.3 Desenvolvimento Instrucional (Passo 4.3)

O desenvolvimento instrucional consiste em implementar as experiências virtuais sob as quais os alunos serão submetidos e interagirão ativamente, utilizando como base as especificações definidas na etapa anterior do método. As suas etapas são ilustradas na Figura 44 e descritas nos tópicos a seguir.

4.4.3.1 Desenvolvimento e Seleção de Materiais Instrucionais

O primeiro estágio do desenvolvimento instrucional consiste na criação dos materiais instrucionais a serem utilizados na etapa de Observação Reflexiva, conforme o modelo de estratégia apresentado. É importante enfatizar que no método proposto, mesmo tendo no seu escopo o desenvolvimento de competências não diretamente relacionadas com o conteúdo, como as competências transversais, o foco do aprendizado deve estar relacionado a uma ou mais competências funcionais dos aprendizes. Sugere-se que os materiais instrucionais sejam preparados em diferentes mídias, conforme descrito no item 3.4.3.

Figura 44 - Etapa de Desenvolvimento Instrucional



Fonte: Elaborada pelo autor

4.4.3.2 Desenvolvimento das Experiências Instrucionais

O desenvolvimento das experiências instrucionais consiste na preparação do ambiente virtual, tanto para o LVDC quanto para a PVA, incluindo seus objetos, para que os mesmos incorporem os elementos didáticos do design instrucional. Esta preparação, em outras palavras, consiste na programação de *scripts* que serão associados aos objetos do ambiente virtual, previamente desenvolvido na etapa anterior, para que sejam habilitadas algumas funcionalidades adicionais além daquelas que buscam replicar o comportamento real dos objetos. Além disso, deverão ser adicionados elementos ao ambiente virtual, voltados ao desenvolvimento das competências definidas para desenvolver e também para aprimorar a experiência do aluno. A base para o desenvolvimento das experiências didáticas é a utilização do modelo de estratégia instrucional proposto anteriormente.

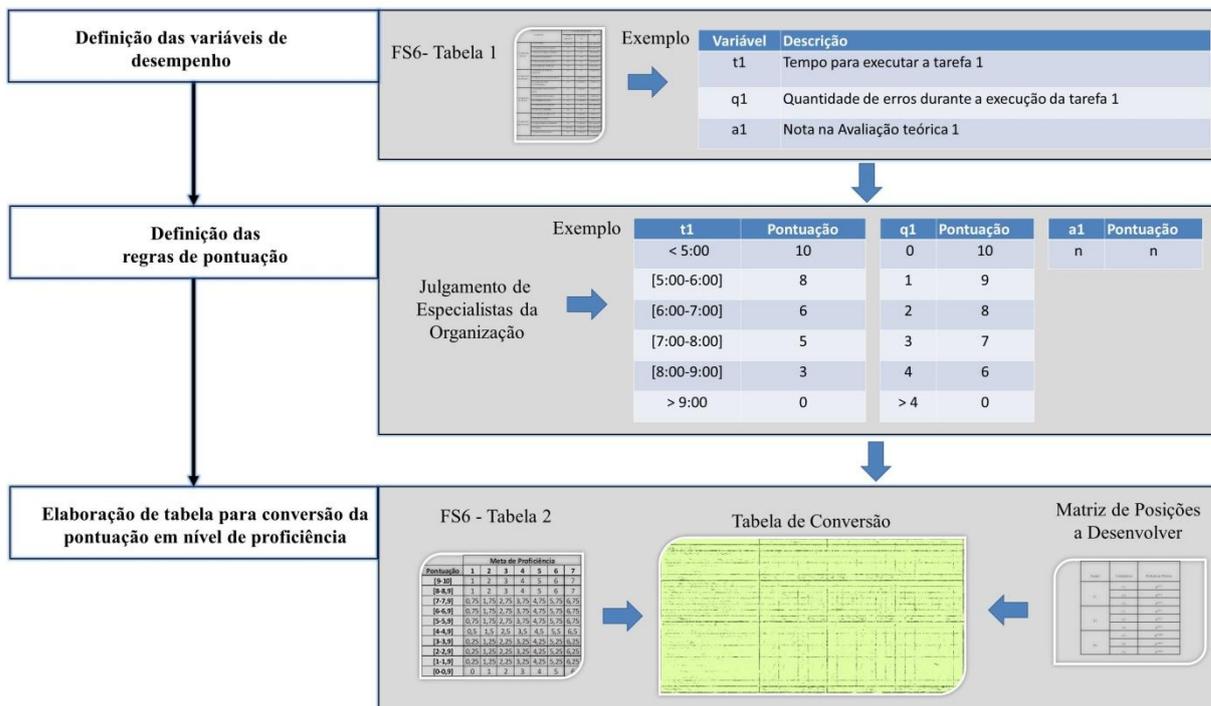
4.4.3.3 Desenvolvimento das Ferramentas Auxiliares

Neste passo devem ser desenvolvidas as ferramentas auxiliares definidas na etapa de projeto instrucional. A definição da utilização de algumas ferramentas auxiliares pode ter sido oriunda do conjunto de recomendações de boas práticas a considerar conforme o Apêndice F. De qualquer forma, a definição de ferramentas auxiliares a desenvolver deve estar consolidada na lista de requisitos.

4.4.3.4 Desenvolvimento dos Instrumentos de Avaliação do Aprendizado

Finalmente, este último passo de desenvolvimento consiste em desenvolver os instrumentos de avaliação do aprendizado. Os instrumentos de avaliação devem avaliar tanto o desempenho dos alunos na execução das tarefas virtuais quanto o conhecimento de tópicos relevantes ao contexto de aprendizagem. Este conhecimento assemelha-se no programa TWI às atividades relacionadas ao passo de preparação, quando o instrutor explica os fundamentos da atividade a ser realizada.

Figura 45 - Processo para Definição dos Níveis de Proficiência



Fonte: Elaborada pelo autor

Após a escolha de quais os instrumentos de avaliação, conforme descrito no item 4.4.2.1, eles devem ser desenvolvidos, atentando-se para a definição de qual desempenho é esperado nos instrumentos de avaliação para cada nível de proficiência. Nos casos em que forem desenvolvidos mais do que um instrumento de avaliação para uma mesma competência, devem ser definidos critérios considerando todos os instrumentos de avaliação. Recomenda-se a elaboração de uma planilha que contemple todas as variáveis de desempenho coletadas, incluindo resultados nos testes, tempo para execução das tarefas e quantidade de erros de execução. Nesta planilha, cada variável de desempenho deve ser associada às competências através de pesos, visando o cálculo de um índice de desempenho para avaliar os alunos diante da faixa de proficiência. A Figura 45 mostra o processo recomendado para a elaboração de uma tabela que será utilizada na etapa de aplicação para a obtenção do nível de proficiência dos alunos.

Embora esteja fora da delimitação da presente tese, cabe mencionar que alguns instrumentos de avaliação complementares podem ser úteis na identificação do nível de engajamento e o estado de *flow* dos alunos, como indicado no trabalho de Tibola e Tarouco (2018) e Carvalho (2018).

4.5 APLICAÇÃO INICIAL (ETAPA 5)

Uma vez finalizado todo o desenvolvimento, a próxima etapa é fazer uma aplicação-piloto da ferramenta instrucional desenvolvida, visando avaliar se a mesma atendeu os objetivos propostos. Antes da aplicação com alunos, o ambiente virtual deverá ser utilizado por membros da equipe, os quais deverão verificar as necessidades de ajustes.

Em outras palavras, o que necessita ser feito nesta etapa é o que se conhece no contexto de desenvolvimento de sistemas pelos termos verificação e validação. Há várias definições para verificação e validação, sendo que a ISO/IEC 15288 (2015), a norma de Engenharia de Sistemas mais conhecida e utilizada (Xue, Baron e Esteban, 2017), apresenta as seguintes definições:

- verificação: conjunto de atividades que comparam produtos relacionados ao ciclo de vida do sistema em relação às características necessárias dos produtos;
- validação: conjunto de atividades visando garantir que o sistema tem a habilidade de atingir seus objetivos, metas e uso pretendido.

Já no contexto de ambientes virtuais de aprendizagem, Laguardia, Portela e Vasconcellos (2007, p.520) estabelecem quais os elementos que usualmente são utilizados para a avaliação de tais ambientes, ao comentar:

“De modo geral, a avaliação de ambientes virtuais de aprendizagem pode tomar como base para sua investigação as condições em que a aprendizagem se realiza (estrutura), os modos pelos quais os estudantes são capazes de interagir sendo apoiados nas suas atividades (processos) e o alcance dos objetivos e das metas propostos (resultados).”

O primeiro passo para a avaliação inicial é a definição de avaliadores da própria equipe de implementação. Em seguida, caberá a eles realizar a verificação, que neste contexto resume-se a confrontar o que foi implementado em relação aos requisitos descritos na etapa anterior. Recomenda-se que cada requisito seja avaliado por pelo menos dois membros distintos da equipe. O resultado da avaliação deverá ser submetido a todos os membros da equipe e a partir daí, deverá ser decidido pelo líder sobre a necessidade ou não de ajustes antes da validação dos requisitos.

O próximo passo é a seleção de usuários para a realização de testes de validação. Estes usuários deverão compor um grupo heterogêneo a ponto de serem representativos do público-alvo de alunos. Muitas variáveis podem ser consideradas para esta definição, mas recomenda-se considerar pelo menos as seguintes: nível de proficiência atual com as competências a

desenvolver e grau de familiaridade prévia com informática e mais particularmente, com ambientes virtuais como o de jogos eletrônicos. Finalmente, os usuários deverão utilizar todos os recursos do ambiente virtual visando suportar a validação do sistema. Recomenda-se o registro de todas as interações feitas pelos usuários, visando avaliação posterior pela equipe de implementação, além de observações apontadas pelos membros da equipe que acompanharam a aplicação do piloto.

4.6 IMPLEMENTAÇÃO COMPLETA (ETAPA 6)

A etapa final de implementação do método vem a ser expandir a aplicação da ferramenta instrucional para outros alunos além dos que participaram da etapa anterior. O primeiro passo para a implementação completa é analisar os registros da aplicação do piloto e avaliar a necessidade de revisar o projeto do sistema de capacitação a partir das experiências. O facilitador da equipe deverá conduzir reuniões com a equipe de implementação e resumir o resultado das análises. Eventuais desvios em relação aos resultados esperados ou quanto à implementação dos requisitos deverão ser analisados pela equipe e registrados. A equipe deverá definir uma disposição para cada desvio, ou seja, se aceitam que a implementação completa seja realizada com o desvio, ou se algum ajuste necessita ser realizado. Se o ajuste for considerado significativo, ele deverá passar novamente pelo processo de verificação e validação, caso contrário, bastará passar pelo processo de verificação e nesse caso deverão ser observados os resultados na aplicação ao primeiro grupo de alunos.

Após ajustes no sistema de capacitação (se forem necessários), cabe à equipe de implementação planejar a implementação completa. Neste sentido, conforme relatam Niazi, Wilson e Zowghi (2003), profissionais têm ressaltado a necessidade de que após o projeto piloto para a implementação de um novo sistema, seja estabelecido um plano contendo atividades, cronograma, recursos alocados, responsabilidades e orçamento. Deve ser considerada a necessidade de atualização de procedimentos da organização, além da elaboração de manuais para suportar a manutenção do sistema de capacitação após a sua implementação. Finalmente, o sistema de capacitação deverá ser implementado para o escopo de funções e competências definido.

5. AVALIAÇÃO DO MÉTODO

O processo de avaliação do método contemplou três etapas. A primeira consistiu na tentativa de aplicação do método, descrito no item 5.1. Nesta etapa o objetivo foi testar o método em uma organização, identificando, através da coleta de observações feitas pelos membros da equipe, as eventuais dificuldades e pontos de melhoria. Todos os passos da aplicação do método foram descritos de forma detalhada. Na etapa seguinte foram coletadas as impressões dos usuários e os resultados de aprendizagem (item 5.2). Esta avaliação foi realizada utilizando um grupo representativo da população-alvo. A terceira etapa, descrita no item 5.3, contou com a avaliação do método através de um painel de especialistas

5.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO POR ESPECIALISTAS

Foram selecionados três especialistas, a partir dos critérios pré-estabelecidos mencionados no item 3.4.4, conforme o Quadro 29.

Quadro 29 - Perfil dos Especialistas que Avaliaram o Método

	Tempo de Experiência Profissional	Formação Acadêmica	Experiências Profissionais (Funções)
Especialista 1	14 anos	- Bacharelado em Eng. Produção - Mestrado em Eng. Produção e Sistemas - Doutorado em Ciências da Computação em Andamento, envolvendo Indústria 4.0	- Gerente de Projetos - Eng. de Manufatura - Comprador
Especialista 2	24 anos	- Bacharelado em Eng. Produção Mecânica - MBA em Gestão Empresarial	- Gerente de Planejamento - Gerente de Projetos - Eng. da Qualidade
Especialista 3	25 anos	- Bacharelado em Eng. Mecânica - Especialização em Eng. Produção. - Mestrado em Gestão e Negócios, com tema relacionado à Indústria 4.0.	- Diretor de Operações - Gerente de Planta - Gerente de Produção - Eng. de Produto

Fonte: elaborado pelo autor

Num primeiro momento o método foi apresentado individualmente a cada especialista, quando foram oportunizados esclarecimentos sobre os seus objetivos, etapas e ferramentas de suporte. Numa segunda etapa, cada especialista interagiu com o método, o qual foi enviado a todos. Junto com o método, os especialistas receberam o instrumento para avaliação

individual. As perguntas do instrumento de avaliação foram apresentadas no formato misto; para algumas foi solicitada a marcação de uma opção de 1 a 5 (escala Likert) e outras eram abertas, permitindo os especialistas manifestarem as suas opiniões.

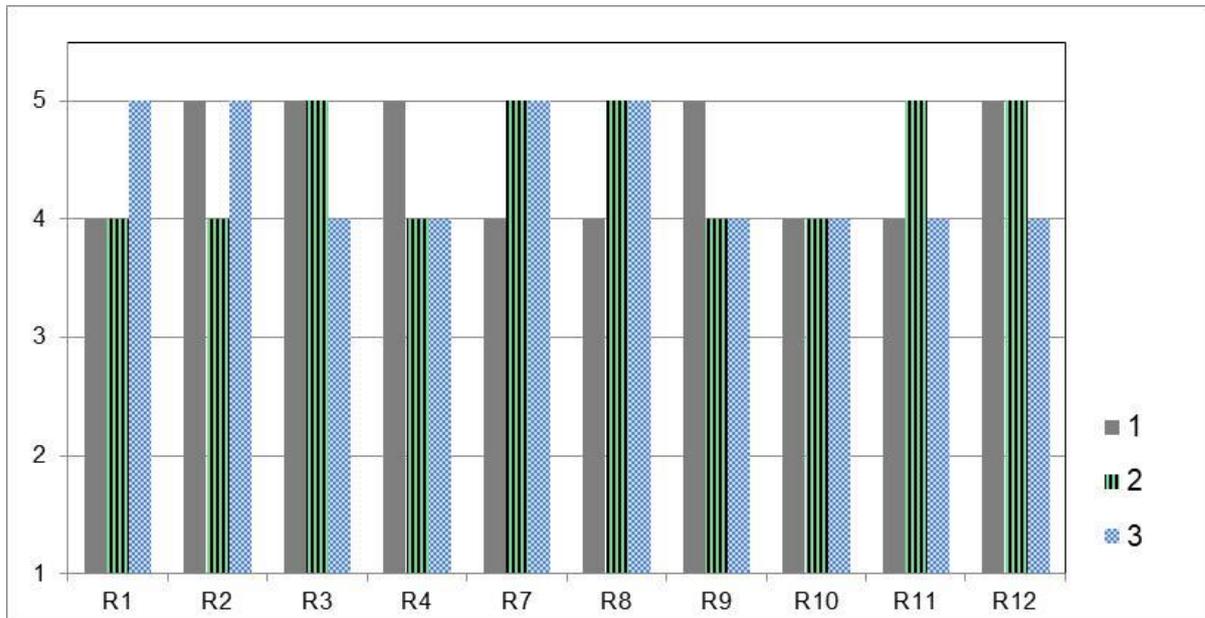
Para a elaboração do instrumento de avaliação foi utilizado como referência três dos cinco “domínios da avaliação”, conforme proposto por Rossi, Lipsey e Henry (2019): a) avaliação da necessidade; b) avaliação do *design* do programa; c) avaliação do processo do programa. O termo “programa” foi utilizado, pois o trabalho dos autores está relacionado à chamada teoria do programa, que é um conjunto de premissas que relacionam um programa aos benefícios que se espera que ele alcance, assim como a estratégia e as táticas usadas para atingir os objetivos e metas. Os cinco domínios da avaliação e a forma como foram abordados estão descritos a seguir:

O primeiro domínio, que se refere à avaliação da necessidade, foi abordado através de duas perguntas. A primeira foi mais geral sobre a necessidade de um método: “Você acha que as organizações industriais, de uma maneira geral, necessitam de um método para o desenvolvimento de competências para Indústria 4.0?”. A segunda incluiu a realidade virtual como foco: “Você acha que seja útil existir um método para o desenvolvimento de competências para Indústria 4.0, tendo como foco o uso de realidade virtual?” Para ambas as perguntas a escala de opções de resposta ia de “com certeza não”, a “com certeza sim”. As respostas dos especialistas foram as mesmas para as duas perguntas, terceiro especialista escolheu a opção mais positiva (nível 5) e os demais o nível 4.

A segunda parte do questionário, relacionada ao “*design* do programa”, avaliou a percepção dos especialistas quanto ao cumprimento dos requisitos definidos no item 3.4.3, exceto os requisitos R5 e R6, cuja avaliação está descrita no item 5.4 como o 2º Objeto Específico da pesquisa. O questionamento aos especialistas foi se cada requisito foi atendido pelo método e foi usada uma escala Likert de 1 a 5, sendo o 1 representando “de forma alguma” e 5 representando “totalmente”.

Conforme pode ser visto na Figura 46, as avaliações foram muito positivas. Todos os requisitos foram avaliados pelo menos no nível 4 da escala, sendo 47% das avaliações no nível 5 e 53% no nível 4.

Figura 46 - Avaliação dos Requisitos pelos Especialistas

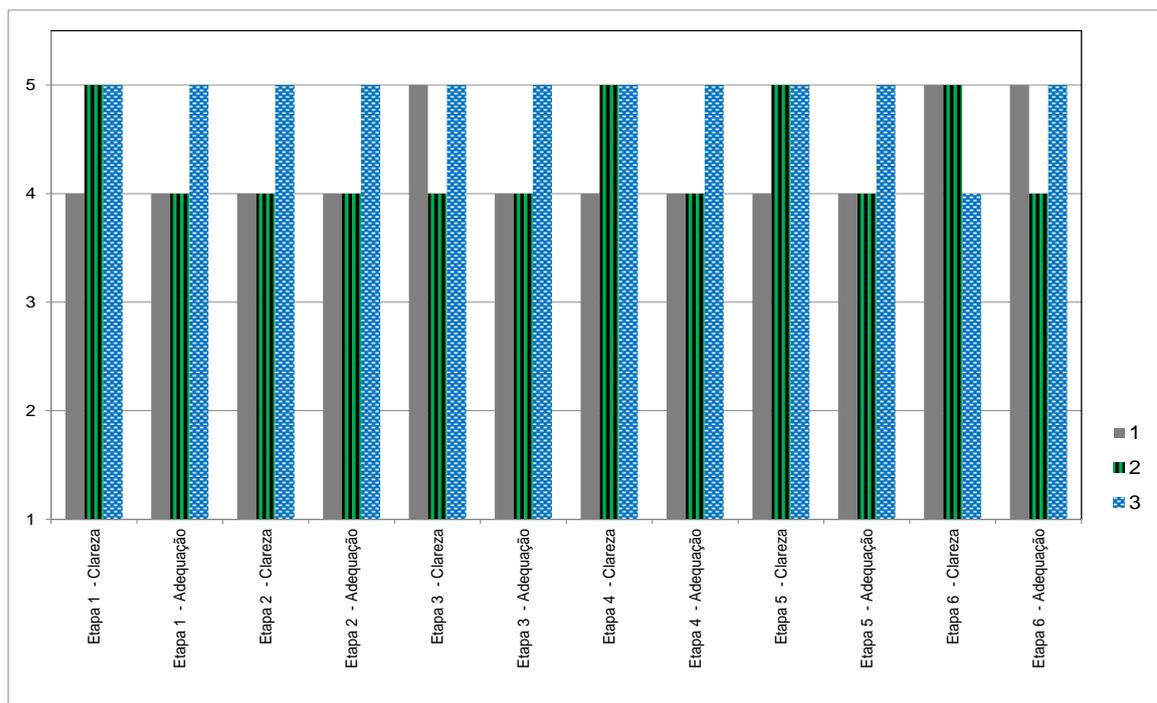


Fonte: elaborada pelo autor

A próxima parte do questionário, relacionada com a “avaliação do processo do programa” contemplou inicialmente uma pergunta geral sobre o método: “Você acha que o método proposto como um todo possui etapas claramente definidas para guiar uma organização industrial a implementá-lo?” Além disso, cada ferramenta de suporte foi avaliada separadamente. Na pergunta geral sobre as etapas, dois dos três especialistas avaliaram no nível máximo e um no nível 4. Na avaliação das ferramentas de suporte, apenas uma delas, a FS4 (tecnologias de realidade virtual), teve alguma avaliação menor que nível 4. O Especialista 1 a avaliou no nível “3” e justificou sua avaliação relatando sua percepção de que a ferramenta não era “amigável”, não sendo fácil o entendimento de como utilizá-la.

Em seguida o questionário contemplou a avaliação de cada etapa do método quanto aos critérios de clareza e adequação. As opções apresentadas variaram seguindo uma escala Likert entre “Ruim” (nível 1), até “Excelente” (nível 5). Conforme ilustrado na Figura 47, todas as avaliações foram entre o nível 4 (“Bom”) e 5 (“Excelente”). Ao comparar as etapas entre si, percebe-se que a Etapa 6 foi a melhor avaliada, com 67% no nível 5 e a pior avaliada foi a Etapa 2, com 33% no nível 5. A Etapa 2 foi avaliada no nível 4 para ambos critérios pelo Especialista 1 e 2 e no nível 5 pelo Especialista 3. Já comparando a avaliação entre os critérios de clareza e adequação 61% das avaliações de clareza ficaram no nível 5, enquanto 39% das avaliações de adequação ficaram neste nível.

Figura 47 - Avaliação das Etapas do Método pelos Especialistas



Fonte: elaborada pelo autor

Após o fornecimento das respostas individuais, os especialistas foram consultados visando aprofundar alguns questionamentos. O primeiro ponto investigado foi o fato do requisito R10 ter sido o que teve pior avaliação. Este requisito refere-se aos ambientes virtuais de aprendizagem terem que ser desenvolvidos e implementados utilizando como base um mapeamento de boas práticas existentes. Quando questionado aos painelistas sobre deficiências do método em relação a esse requisito, ficou evidente que a percepção deles deve-se a FS5, relacionada a este requisito. Conclui-se pela necessidade de aprimoramento da FS5, o que já foi colocado em prática (a FS5 descrita no Apêndice F já possui melhorias implementadas a partir da realimentação dos especialistas).

Ao conversar sobre aspectos positivos do método, o Especialista 2 comentou: “é um método claro a ser seguido para implementação de ferramenta de aprendizagem virtual”. O Especialista 1 complementou: “O método traz uma sequência lógica e estruturada que auxilia o planejamento... pondera os níveis de tecnologia em comparação ao custo e permite um grau de adaptação às diferentes indústrias e processos.”. O Especialista 3 concluiu: “Excelente proposta! Este método possibilita inclusive criar ambientes virtuais pré-padronizados para necessidade genéricas, talvez gerando um *spin off* de um novo produto: ambientes virtuais de treinamento para: linhas de montagem, linhas de usinagem, linhas de caldeiraria, *project offices*, etc.”.

Em relação a oportunidades de melhoria, o Especialista 1 apontou: “Aparenta ser um processo bastante longo com construção de muitas tabelas. É possível que isso torne o método menos palatável em algumas organizações.”. Na sequência o Especialista 2 comentou: “Sugiro deixar mais evidente objetivos a serem alcançados e progresso *on time* do treinando durante treinamento no ambiente virtual”

5.2 TENTATIVA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO

Conforme planejado no método de pesquisa e visando a avaliação e o aperfeiçoamento do método proposto, foi realizada uma tentativa de aplicação em uma organização industrial. A organização situa-se na região Sul do Brasil, possuindo um parque fabril onde são realizados montagens e reparos de produtos eletromecânicos. Por questões de confidencialidade não foi autorizada pela organização a divulgação de informações adicionais que levem à sua identificação, nem detalhes sobre sua linha de produtos.

5.2.1 Preparação (Etapa 1)

A etapa de preparação ocorreu entre os meses de Novembro de 2019 e Janeiro de 2020 e contemplou todas as atividades previstas no método. O tempo para execução desta etapa foi mais longo do que o esperado, devido a questões internas da organização. A avaliação do método foi incluída no rol de projetos de inovação da empresa e buscou-se priorizá-lo junto a outras iniciativas.

Cabe mencionar que o líder de implementação foi o próprio autor da tese. Visando avaliar o método sobre a ótica de um potencial líder de implementação com maior grau de isenção, posteriormente o método foi avaliado por um profissional da organização, que eventualmente poderia ter sido escolhido para este papel, assim como dois especialistas externos da organização.

A sensibilização ocorreu através de reuniões informais entre o líder de implementação e membros da equipe, além de duas reuniões formais com todos os membros da equipe. As reuniões formais utilizaram como material de apoio o padrão de apresentação da FS1, adaptado ao contexto da organização.

Uma particularidade que deve ser considerada em relação ao contexto de implementação quanto à sensibilização é o fato de que os profissionais envolvidos tinham o conhecimento de que a implementação ocorreu como parte de uma tentativa de aplicação oriunda de uma pesquisa acadêmica. Outro ponto relevante foi a premissa adotada desde o início para esta implementação de que a organização não teria nenhum custo financeiro até a

etapa de Aplicação Inicial, exceto o tempo dedicado dos profissionais da organização. Estas características do contexto devem ser consideradas como ressalvas quanto à avaliação deste passo do método, por exemplo, essa restrição de orçamento poderia vir a impactar a não utilização de tecnologias que poderiam vir a ser demandadas.

A avaliação de contexto (Passo 1.2) consistiu na aplicação do questionário proposto por SENAI (2019a), visando avaliar o nível de maturidade da organização quanto à indústria 4.0, além de perguntas adicionais, conforme previsto na FS2.

Quadro 30 - Resumo da Avaliação do Contexto (Primeira Parte)

Questão	Respostas Consolidadas
Status da implementação da estratégia de indústria 4.0	A única iniciativa piloto da organização está em fase inicial (avaliação do presente método). Outras iniciativas foram apenas alvo de estudos, mas não chegaram a ser implementadas.
Áreas da organização que receberam investimentos na implantação de indústria 4.0 nos últimos dois anos	Na área de Manufatura teve pouco investimento, nas demais nenhum investimento
Áreas da empresa que receberão investimentos na implantação de Indústria 4.0 nos próximos 5 anos	Na área de Manufatura terá entre pouco e médio investimento, nas demais nenhum investimento
Nível de utilização das tecnologias da Indústria 4.0 na organização (aplicado à manufatura)	Sistemas computacionais e aplicativos para celular, Sistemas embarcados e robôs: baixo, demais tecnologias: inexistente.
Opinião sobre a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na organização	Deveria ser avaliada e se viável, implementar: sensores inteligentes, IoT, <i>Smart Shelf</i> , RTLS AGV, MES, <i>Big Data Analytics</i> , simulação, Realidade Virtual, Realidade Aumentada. Deveria ser intensificada a sua implementação: robôs, impressão 3D. Demais tecnologias: não viável a sua implementação.
O que fazer para intensificar a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 na organização	O Avaliador 1 escolheu a opção de implementar um piloto e o Avaliador 2 escolheu como opção investir em treinamentos para a alta direção possuir conhecimento sobre os benefícios que podem ser alcançados com a aplicação de ferramentas da indústria 4.0. Ambas as opções podem ocorrer em paralelo.
Nível de competências que o pessoal da organização possui para atuação no contexto da Indústria 4.0	Médio conhecimento por parte dos desenvolvedores, porém baixo conhecimento pelos demais

Fonte: Elaborado pelo autor

Embora não tenha sido prescrito no método, para responder o questionário foram selecionados dois profissionais da organização com conhecimento avançado sobre as operações da mesma e com conhecimentos sobre Indústria 4.0. O líder de implementação coletou as respostas individuais dos dois avaliadores e após esclarecimentos quanto aos pontos divergentes, as mesmas foram consolidadas. Um resumo das respostas mais relevantes

para o contexto da aplicação do método pode ser visto no Quadro 30. O Avaliador 1 possuía maior conhecimento das estratégias da empresa e das tecnologias associadas aos produtos, tendo mais de 20 anos de experiência profissional na mesma organização. Já o Avaliador 2 tinha mais conhecimento sobre o processo produtivo da organização, contabilizando cerca de 8 anos de experiência na organização. Ambos são formados em Engenharia e possuem o título de Mestre em Engenharia.

Quadro 31 - Resumo da Avaliação do Contexto (Segunda Parte)

Questão	Respostas Consolidadas
Segmentos onde a organização atua	Tecnologia (mais detalhes foram omitidos por questões de sigilo)
Processos produtivos envolvidos	Montagem de placas eletrônicas, montagens mecânicas, manutenção de placas eletrônicas, manutenção mecânica de produtos (mais detalhes foram omitidos por questões de sigilo)
Histórico e motivadores para o desenvolvimento de competências através de Realidade Virtual	Fase inicial de implementação de TWI. Dificuldades referentes à disponibilidade de produtos reais para fins exclusivos de treinamento.
Características do público-alvo	Montadores de nível técnico, com experiência média no uso de computadores
Taxa de rotatividade dos funcionários, considerando o público-alvo	É considerada média (índice não fornecido).
Em linhas gerais, quais os problemas de aprendizagem conhecidos	Devido a baixos volumes de produção, ocorrem lacunas grandes de tempo na utilização de competências específicas
Resultados esperados a partir da metodologia	Reduzir a curva de aprendizagem, reduzir os erros, reforçar cuidados necessários na operação
Profissionais que poderão ser envolvidos no processo de modelagem e execução	Engenheiros de Manufatura, supervisão de produção e montadores (membros da equipe e o público-alvo).
Disponibilidade de tempo dos participantes da organização para a implementação do projeto	Disponibilidade variada, dependendo da época. Dificuldade em disponibilizar o público-alvo em momentos de alta de produção.
Disponibilidade de recursos financeiros para a implementação do projeto	Durante o piloto: nenhuma. Após o piloto: a definir.

Fonte: Elaborado pelo autor

As questões consolidadas referentes ao questionário da ferramenta do SENAI (2019a) para avaliação do nível de maturidade da organização foram submetidas em Dezembro de 2019. O resultado geral obtido é ilustrado na Figura 48, indicando a classificação da

organização no segundo estágio, chamado de Sensorização e Conectividade. Também foi indicada a pontuação obtida (2,66) e o resultado da avaliação para cada dimensão avaliada.

Figura 48 - Resultado do Questionário de Avaliação de Maturidade



Fonte: Relatório da Avaliação de Maturidade pelo SENAI (2019a)

O tempo para aplicação deste passo do método seguiu a recomendação (menos de 1 mês), porém finalizou um pouco antes das férias coletivas da organização, então houve algumas dificuldades para remobilização da equipe de implementação para a sequência de atividades.

O passo 1.3, Formação e Avaliação de Equipe Multidisciplinar, foi executado em paralelo com o anterior, conforme possibilita o método. A equipe foi definida a partir das disciplinas necessárias e contemplou os profissionais indicados no Quadro 32.

Quadro 32 - Membros da Equipe

Membro da Equipe	Função na Organização	Função na Implementação do Método
Membro 1	Diretor de Projetos	Suporte na liderança (“Sponsor”)
Membro 2	Coordenador de Engenharia de Manufatura	Especialista na Operação
Membro 3	Engenheiro de Manufatura	Especialista na Operação
Membro 4	Supervisor de Produção e Treinamento Operacional	Especialista na Operação
		Suporte ao Especialista em Educação
Membro 5	Pesquisador Externo	Desenvolvimentos em RV
		Especialista em Educação
		Líder de implementação

Fonte: Elaborado pelo autor

O passo 1.4, Identificação de Necessidades e Oportunidades, buscou definir claramente para quais atividades específicas a metodologia seria aplicada inicialmente na organização. Como prescrito no método, foram avaliadas as necessidades da organização e identificadas as seguintes ocupações específicas com maior potencial e interesse a desenvolver através do método: operação de equipamento SMT, montador de produtos eletromecânicos, técnico de reparo de produtos eletromecânicos e inspetor da Qualidade. Foram também identificados os processos específicos, referentes a tais ocupações, a desenvolver através do método, os quais são relacionados com as ocupações no Quadro 33.

Quadro 33 - Ocupações, Processos e Atividades

Processos	Ocupação			
	O1 - Operador de Equipamento SMT	O2- Montador de produtos eletromecânicos	O3- Técnico de reparo de produtos eletromecânicos	O4- Inspetor da Qualidade
P1- Colocação e teste de dispositivos de prevenção ESD	O1P1 (A1)	O2P1 (A1)	O3P1 (A1)	O4P1(A1)
P2 - Abastecimento e desabastecimento de materiais	O1P2 (A2)	O2P2 (A3)	O3P2 (A2)	-
P3 - Setup do equipamento de montagem SMT	O1P3 (A4)	-	-	-
P4 - Operação de equipamento de montagem SMT	O1P49 (A5)	-	-	-
P5 - Inspeção de placas eletrônicas	-	-	-	O4P5 (A6)
P6 - Setup de bancada de montagem e reparo de eletromecânica	-	O2P6 (A7)	O3P6 (A7)	-
P7 - Montagem de produtos eletromecânicos	-	O2P7 (A8)	-	-
P8 - Reparo de produtos eletromecânicos	-	-	O3P8 (A9)	-
P9 - Inspeção de produtos eletromecânicos	-	-	-	O3P9 (A10)

Fonte: Elaborado pelo autor

O cruzamento entre as ocupações “Om” e processos “Pn” resultou um total de 15 diferentes combinações “OmPn”, conforme apresentado no Quadro 33. Cada uma destas foi comparada entre si e quanto à sua natureza e competências requeridas e conclui-se que

algumas delas poderiam ser combinadas em grupos de atividades. Por exemplo, para todas as ocupações selecionadas, não existem particularidade em relação ao processo “P1” que justifique a necessidade de tratar de forma distinta este processo para cada uma das ocupações selecionadas, então para todas as ocupações foi alocada a atividade “A1” para a posição “P1”. Desta análise resultaram 10 atividades distintas, representadas no Quadro 33 como “Ax”.

Já pensando na implementação-piloto, decidiu-se escolher as atividades com maior incidência dentre as escolhidas: A1 (Colocação e teste de dispositivos de prevenção ESD para as posições “O1”, “O2”, “O3” e “O4”), A3 (Abastecimento e desabastecimento de materiais para a posição “O2”) e A7 (“Setup de bancada de montagem e reparo de eletromecânica” para as ocupações “O2” e “O3”).

O próximo e último passo da etapa de Preparação foi a Elaboração de Cronograma Inicial de Implementação (passo 1.5), conforme Quadro 34. Foi estimado entre dois e três meses o tempo de execução de cada etapa, sendo que cada etapa foi prevista iniciar antes que a anterior tenha sido completamente finalizada. A última etapa do método (Implementação Completa) foi descartada, uma vez que apenas a aplicação piloto foi considerada suficiente para cumprir os objetivos propostos na presente tese.

Quadro 34 - Cronograma Inicial de Implementação

Etapa	Nov/19	Dez/19	Jan/20	Fev/20	Mar/20	Abr/20	Mai/20	Jun/20
1. Preparação da Organização								
2. Determinação das Competências								
3. Modelagem das Operações								
4. Construção Didática								
5. Aplicação Piloto								

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.2 Determinação de Competências a Desenvolver (Etapa 2)

Nesta etapa foram identificadas as competências necessárias para as atividades selecionadas na etapa anterior, e dentre estas, quais a desenvolver através do método. A

identificação das competências foi feita pela Ferramenta de Suporte 3 (FS3) para as ocupações “O1”, “O2”, “O3” e “O4”. Conforme prescreve o passo 2.1, foi avaliado para o contexto da organização quais os níveis de HCG (Habilidade Cognitiva Geral) necessários para cada atividade, através da aplicação da Tabela 1 da FS3. O Quadro 35 mostra a correspondência entre as funções da organização escolhidas para a aplicação do método, as ocupações segundo a O*NET e os níveis de HCG.

Quadro 35 - Níveis HCG por Função

Função	Nome da Ocupação	Código O*NET	HCG
O1 - Operador de Equipamento SMT	Operadores de Máquina de Soldagem	51-4122.00	1
O2- Montador de produtos eletromecânicos	Montadores de Equipamentos Eletromecânicos	51-2023.00	1
O3- Técnico de reparo de produtos eletromecânicos	Reparadores de Manutenção, Geral	49-9071.00	2
O4- Inspetor da Qualidade	Inspetores e testadores	51-9061.00	2

Fonte: Elaborado pelo autor

O próximo passo foi verificar na Tabela 2 da FS3 os níveis de importância de cada competência de cada atividade. Como previsto no método, conforme a faixa de importância correspondente a cada associação entre as competências e os níveis HCG, algumas competências foram eliminadas, algumas consideradas obrigatórias e outras opcionais. O resultado inicial a partir da aplicação da FS3 pode ser visto no Quadro 36. Neste quadro foram eliminadas as competências consideradas de baixa importância para ambos os níveis de HCG.

A partir das faixas de importância indicadas, foi avaliada a aplicabilidade de cada competência para cada atividade e foi avaliado o nível de importância de cada competência selecionada para cada atividade.

Quadro 36 - Seleção Inicial pelos Níveis de Importância

Competência		Nível de Importância														
		HCG 1						HCG 2								
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1.2 Organização de Informações					I	I	I					I	I	I		
1.5 Pensamento Analítico/Crítico	★			I	I							I	I			
1.6 Sensibilidade a Problemas				I	I	I						I	I	I	I	
2.2 Julgamento e Tomada de Decisão				I	I							I	I			
2.3 Correção de Falhas (<i>Troubleshooting</i>)		I	I	I	I	I	I					I	I	I	I	I
3.1 Habilidades de Manutenção e Reparo					I	I	I	I							I	I
3.2 Habilidades de Montagem					I	I	I	I							I	I
3.3 Habilidades de <i>Setup</i>	★				I	I	I	I							I	I
3.4 Capacidade de Visualização				I	I	I	I					I	I	I	I	
3.5 Controle da Qualidade				I	I	I	I					I	I	I	I	
4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	★	I	I	I								I	I	I		
4.2 Emergência Digital	★	I	I	I								I	I	I		

Legenda:

I	Não necessária	I	Obrigatória
I	Opcional		

Fonte: Elaborado pelo autor

No passo seguinte (2.2, Priorização das Competências-chave por Posição), foram escolhidas quais as competências a desenvolver com o método, considerando a possibilidade de excluir uma ou mais competências classificadas como opcionais no passo anterior. Decidiu-se, considerando o contexto da organização, não excluir nenhuma competência.

Mesmo considerado que o escopo inicial para a aplicação não inclui todas as atividades da organização passíveis de utilização do método, observou-se, ao avaliar criticamente a grande extensão de processos a modelar a partir da quantidade de atividades e competências envolvidas, ser necessário atualizar o método, incluindo a possibilidade de uma redução adicional de escopo a partir deste passo. Esta possível redução foi incorporada no passo 2.2 visando exclusivamente a implementação-piloto. A partir desta atualização no método, foram avaliadas quais as atividades (A1 a A10) deveriam fazer parte da

implementação-piloto. Devido ao fato de que a função O2 (Montador de Produtos Eletromecânicos) englobar a maioria dos funcionários dentre as funções previamente escolhidas, decidiu-se utilizar apenas esta na implementação-piloto. Também foi decidido manter na implementação-piloto todas as atividades vinculadas a esta função (A1, A3, A7 e A8). O resultado desta delimitação adicional pode ser visto no Quadro 37.

Quadro 37 - Competências para as Funções Seleccionadas

Competência		Descrição
1.2 Organização de Informações		Habilidade para organizar as coisas ou ações em uma determinada ordem ou padrão de acordo com uma regra específica ou conjunto de regras
1.6 Sensibilidade a Problemas		Habilidade para saber quando algo está errado ou é provável que dê errado. Não envolve resolver o problema, apenas reconhecer que há um problema
2.3 Correção de Falhas (<i>Troubleshooting</i>)		Capacidade de determinação das causas dos erros operacionais e decisão do que fazer sobre elas
3.1 Habilidades de Manutenção e Reparo		Capacidade de execução de manutenção de rotina dos equipamentos e determinação de quando e que tipo de manutenção é necessária. Capacidade para reparar máquinas ou sistemas usando as ferramentas necessárias.
3.2 Habilidades de Montagem		Habilidade para execução das tarefas de montagem com destreza, de acordo com instruções de trabalho e desenhos de montagem
3.3 Habilidades de <i>Setup</i>	★	Habilidade para preparação inicial e final de dispositivos, ferramentas, equipamentos, robots e estações de trabalho visando agilizar a transição entre a produção e reparo de produtos e lotes distintos
3.4 Capacidade de Visualização		Habilidade para imaginar como algo ficará depois de movimentado ou quando suas partes forem movidas ou reorganizadas
4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	★	Conhecimentos sobre Big Data, Inteligência Artificial, Robótica, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, etc.
4.2 Emergência Digital	★	Capacidade de identificação de oportunidades de digitalização

Fonte: Elaborado pelo autor

No passo seguinte (2.3), foram inicialmente identificadas quais as faixas de meta (proficiência mínima). A equipe de implementação avaliou o contexto da organização quanto às demandas para cada uma das competências e utilizando como referência as âncoras (Tabela 3 da FS3) definiu os valores de proficiência mínima para cada competência. O resultado está no Quadro 38.

Quadro 38 - Proficiência Mínima para cada Competência e Atividade Seleccionada

Competência	Atividade			
	A1	A3	A7	A8
1.2 Organização de Informações	3,0	3,0	3,0	4,0
1.6 Sensibilidade a Problemas	3,0	3,0	4,0	5,0
2.2 Julgamento e Tomada de Decisão	2,0	2,0	3,0	3,0
2.3 Correção de Falhas (Troubleshooting)	2,0	2,0	2,0	2,0
3.2 Habilidades de Montagem	-	-	-	4,0
3.3 Habilidades de Setup	3,0	3,0	4,0	4,0
3.4 Capacidade de Visualização	3,0	4,0	4,0	4,0
4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	1,0	1,0	2,0	2,0
4.2 Emergência Digital	1,0	1,0	2,0	2,0

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.3 Modelagem das Operações

O primeiro passo previsto para a modelagem (3.1) é a definição de ambientes, processos e objetos a virtualizar. Uma vez que foram selecionadas algumas competências “digitransacionais” para desenvolver (Tecnologias da Indústria 4.0 e Emergência Digital) e a organização encontra-se num estágio mais inicial de digitalização de seus processos, onde tais tecnologias ainda não estão implementadas na fábrica, decidiu-se modelar algumas tecnologias visando a preparação da mão-de-obra. Para isso, foi necessário avaliar quais dessas tecnologias seria mais viável implementar.

Conforme pode ser visto no Quadro 39, as principais tecnologias da Indústria 4.0 foram avaliadas quanto à aplicabilidade na organização. A partir daí foram escolhidas as seguintes tecnologias para modelar no ambiente virtual: MES, AGV, Smart Shelf, IoT, sensores inteligentes e RTLS. O Quadro 39 também indica em que atividade ou objeto a tecnologia foi modelada.

Quadro 39 - Tecnologias da Indústria 4.0

Tecnologia da Indústria 4.0	Aplicabilidade na Organização para as Ocupações Seleccionadas
MES	Certamente. Desenvolver um MES simulado para o <i>checklist</i> , controle de verificação de dispositivos ESD e <i>Smart Shelf</i>
AGV	Potencial. Desenvolver AGVs simuladores para familiarização dos alunos com essa tecnologia.
<i>Smart Shelf</i>	Certamente. Desenvolver <i>Smart Shelf</i> simulado para materiais e produtos prontos
IoT	Equipar os dispositivos de proteção ESD com IoT
Sensores Inteligentes	Colocar sensores na entrada da sala de montagem para verificar a presença de dispositivos de proteção ESD nos avatares dos alunos e se estes foram testados e aprovados no dia
Realidade Virtual	O próprio sistema de treinamentos já capacitará o aluno a esta tecnologia a nível de usuário/aluno
RTLS	Equipar as bandejas de “beacons” virtuais para a localização das mesmas
Robôs	Fora do escopo das atividades seleccionadas para a aplicação piloto (atividades que não exigem robôs)
Impressão 3D	Fora da delimitação da tese (ciclo de vida do produto: prototipagem rápida)
Simulação	Fora do escopo das atividades seleccionadas para a aplicação piloto (HCG baixo)
<i>Big Data Analytics</i>	Fora do escopo das atividades seleccionadas para a aplicação piloto (HCG baixo)

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 40 foram compiladas as definições quanto a ambientes, processos e objetos para cada atividade a ser modelada, já incluindo as tecnologias da Indústria 4.0 seleccionadas. Como prescrito no método, buscou-se o conhecimento existente sobre os produtos e processos. Em outras palavras, a partir deste detalhamento, foram coletadas informações pertinentes, tais como: instruções de trabalho detalhando as etapas dos processos envolvidos, arquivos 2D e 3D dos objetos, layout da fábrica, conexões lógicas entre os objetos, etc.

Quadro 40 - Detalhamento das Atividades

Atividades	Dimensão		
	Ambientes	Processos	Objetos
A1: Colocação e Teste de Dispositivos de Prevenção ESD	<ul style="list-style-type: none"> - Local para o equipamento de teste e pulseira ESD - Local para armazenagem de pulseira ESD - Local para armazenagem de calcanheira esquerda - Local para armazenagem de calcanheira direita 	<ul style="list-style-type: none"> - Colocação e retirada de pulseira ESD - Colocação e retirada de calcanheiras ESD - Operação do equipamento de testes de pulseira e calcanheira ESD - Comunicação da presença e estado das pulseiras por IoT - Comunicação da presença e estado das calcanheiras por IoT 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulseira ESD - Calcanheiras ESD do calçado esquerdo e direito - Equipamento para teste de pulseira e calcanheira ESD - Corrente de descarga eletrostática de carros de transporte - Etiqueta de verificação do estado de bancadas ESD - Sensores de presença de calcanheiras e pulseiras na entrada da sala por IoT
A3: Abastecimento e Desabastecimento de Materiais	<ul style="list-style-type: none"> - Na sala de montagem: local para armazenagem de carros de transporte - Na sala de montagem: local para armazenagem de produtos prontos - Na sala de montagem: local de armazenagem de materiais - No corredor principal AGVs 	<ul style="list-style-type: none"> - Transferência de bandejas de produtos prontos para outras posições num mesmo carro de transporte, para outro ou para o armário de materiais - Transferência de bandejas de materiais dos AGVs para armários de materiais ou para carros de transporte - Deslocamento de AGVs pela distância desejada - Chamada de um AGV específicos ou o mais próximo 	<ul style="list-style-type: none"> - Carros de transporte - Bandejas de materiais - Bandejas de produtos - Terminal eletrônico para materiais e AGVs (<i>smart shelf</i>) - AGVs
A7: Setup de Bancada de Montagem e Reparo de Eletromecânica	<ul style="list-style-type: none"> - Prédio da fábrica virtual - Sala de montagem de produtos conforme futuro layout planejado - Bancada de montagem de produtos 	<ul style="list-style-type: none"> - Movimentação de ferramenta entre o armário e a bancada de trabalho - Operação do ionizador de ar - Operação da luminária - Preenchimento do checklist digital - Abertura e fechamento de gavetas 	<ul style="list-style-type: none"> - Móveis: bancadas, armários, assentos - Ionizadores de ar - Exaustores de ar - Luminárias - Ferramentas de montagem - Gavetas - FODs - Terminal eletrônico para checklist digital
A8: Montagem de produtos eletromecânicos	<ul style="list-style-type: none"> - Bancada de montagem de produtos 	<ul style="list-style-type: none"> - Movimentação de ferramenta entre o armário e a bancada de trabalho - Passo-a-passo de montagem - Interação entre as ferramentas e os produtos sendo montados - Variações nos processos de montagem (torque, aplicação de produtos químicos, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos representativos para montagem - Ferramentas de montagem - Produtos químicos

Fonte: Elaborado pelo autor

No passo 3.2 foi aplicada a FS4, num processo iterativo em que foram consideradas as características habilitadoras das tecnologias de realidade virtual existentes, assim como os custos envolvidos. O ponto de partida foi a definição de proficiência mínima para cada uma das atividades, conforme consolidado no Quadro 38. Da tabela 1 da FS4 obteve-se os níveis mínimos de tecnologia para o realismo (NREA), imersão (NIME) e interação (NINT), conforme Quadro 41.

Quadro 41 - Níveis de Tecnologia

Atividade	Nível de Tecnologia	Competência								
		1.2	1.6	2.2	2.3	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2
A1	NREA	0	2	0	1	-	2	2	1	1
	NIME	0	1	0	1	-	1	1	1	1
	NINT	1	2	0	1	-	2	2	0	1
A3	NREA	0	2	0	1	-	2	2	1	1
	NIME	0	1	0	1	-	1	2	1	1
	NINT	1	2	0	1	-	2	1	0	1
A7	NREA	0	2	1	1	-	2	2	1	1
	NIME	0	1	0	1	-	1	2	1	1
	NINT	1	2	0	1	-	2	1	0	1
A8	NREA	0	3	1	1	2	2	2	1	1
	NIME	0	1	0	1	3	1	2	1	1
	NINT	1	2	0	1	3	2	1	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que para desenvolver todas as competências no nível desejado para todas as atividades seria necessária a utilização das plataformas de software mais imersivas e realista, tais como *Unity 3D* ou *Unreal* com recursos de *hardware* imersivos, como HMD. Conforme indicado no Quadro 41 em amarelo, essa maior demanda por tecnologia está associada a duas competências específicas: sensibilidade a problemas e habilidades de montagem, ambas vinculadas à atividade A8 (montagem de produtos eletromecânicos). Avaliando os custos e benefícios, decidiu-se eliminar do escopo da implementação-piloto a atividade A8, permitindo assim que a modelagem fosse realizada sem demandar tecnologias mais avançadas. Cabe mencionar que influenciou nessa decisão o fato do pesquisador era quem assumiu na equipe o papel de desenvolvedor de Realidade Virtual, e o mesmo já possuía experiência no desenvolvimento através da plataforma Open Simulator.

Outros itens assinalados no Quadro 41 referem-se ao nível mínimo 2 de imersão (NIME), associado às atividades A3 (Abastecimento e Desabastecimento de Materiais) e A7

(Setup de Bancada de Montagem e Reparo de Eletromecânica). Conforme tabelas 2 e 3 da FS4, seria indicada a utilização de tecnologias que propiciam maior imersão que a plataforma Open Simulator e monitores comuns. Para atender este requisito, seria necessário um investimento nessa tecnologia, apenas para satisfazer esse requisito associado à competência 3.4 (capacidade de visualização). Concluiu-se que o impacto da utilização de uma tecnologia imersiva era pequeno frente aos custos necessários para adquirir uma tecnologia mais imersiva e que a lacuna existente na competência de visualização poderia ser facilmente fechada através de capacitações adicionais no ambiente produtivo real. Essa, portanto, foi considerada uma limitação para que fosse possível capacitar os alunos a atingir o nível de proficiência desejado. O resultado dessas interações e decisões quanto ao *hardware* e *software* a serem adotados para a implementação-piloto pode ser visto no Quadro 42.

Quadro 42 - Configuração de *Software* e *Hardware*

		Nível Máximo Possível			Custo de Desenvolvimento	
		Realismo (NREA)	Imersividade (NIME)	Interação (NINT)	Esforço (h.h)	Investimento
SW	Open Simulator (OpenSim)	2	1	2	Medio	Zero
HW	H1- PC comum, sem placa gráfica. Monitores comuns.	2	1	2	Baixo	

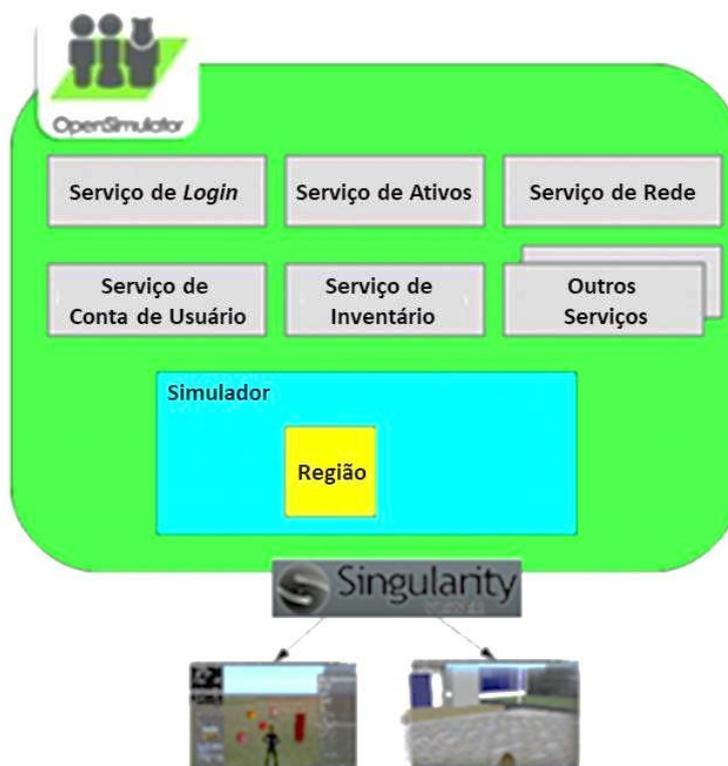
Fonte: Elaborado pelo autor

A arquitetura de *software* adotada foi a mais simples possível utilizando a plataforma *OpenSim*, a chamada *standalone*, conforme ilustrado na Figura 49. Nesse modo, conforme descreve Fishwick (2009), o terminal cliente interage com um servidor e o usuário autentica no servidor antes de ser colocado no mundo virtual. O servidor contém todos os serviços básicos, incluídos em um executável que envolve bibliotecas dinâmicas quando necessário (FISHWICK, 2009). Os serviços básicos são os seguintes: de usuário, de ativos, de rede, de inventário e de mensagens. Uma das vantagens na escolha desta plataforma é a possibilidade de escalar a solução para vários usuários acessar o mesmo mundo virtual remotamente, contemplando um adequado controle de acessos e até mesmo a opção de acesso simultâneo dos usuários.

A modelagem na plataforma *OpenSim* ocorreu através do visualizador *Singularity*. Através dele, ocorreu a interface de programação e toda a modelagem foi feita: os objetos 3D foram importados para o mundo virtual ou desenhados diretamente nele, foram associados os

scripts (programações) aos objetos, foram desenhados ambientes virtuais, adicionados sons, etc.

Figura 49 - Arquitetura de *Software*



Fonte: elaborada pelo autor

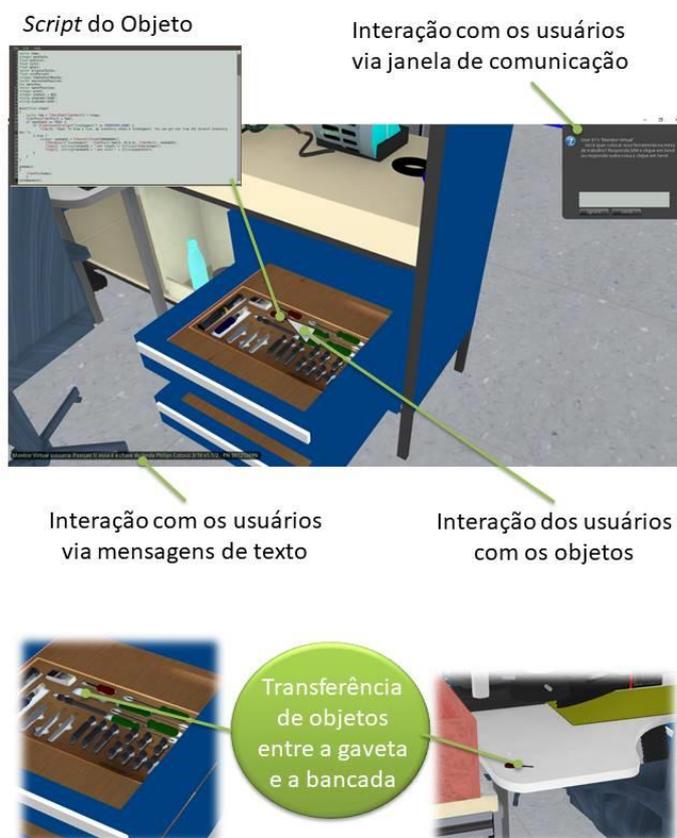
A modelagem iniciou com o estágio de preparação da visualização, conforme previsto no método. Inicialmente foi feita a conversão e transferência de modelos 3D de objetos já existentes na biblioteca de modelos da organização para o formato *Collada*, compatível com a plataforma de desenvolvimento *OpenSim*. Vários objetos, como ferramentas de trabalho padrão, foram obtidos de banco de dados gratuito ou tiveram que ser construídos na própria plataforma *OpenSim*, através de figuras tridimensionais básicas (objetos primitivos) associadas entre si. Em seguida, foram aplicadas texturas aos objetos, além de outros elementos visuais, visando um maior nível de realismo. Foram utilizadas texturas padrão, já disponíveis através do visualizador *Singularity* ou importadas de fotos de objetos reais existentes na fábrica real replicada. Foram modelados 168 objetos individuais, a partir de 6687 objetos primitivos conforme lista que consta no Apêndice H.

As atividades de “Aplicação de Iluminação e Sombras”, assim como a de “Navegação no Cenário”, ainda do Estágio 1 (Preparação da Visualização) foram aproveitadas do próprio visualizador *Singularity*, ou seja, não foi necessária nenhuma programação adicional. Já a

“Hierarquia de Objetos”, prevista no método, não é possível fazer através da plataforma *OpenSim*. Os objetos até podem ser relacionados entre si através dos objetos primitivos, porém essa relação não é hierarquizada, como é feito em algumas soluções encontradas em plataformas de gráficos 3D, como o *Blender*, *X3D*, *VRML*, etc.

Em seguida partiu-se o segundo estágio, a programação dos comportamentos dos objetos virtuais, incluindo a programação das possíveis interações com outros objetos e com os usuários. Isso incluiu o planejamento das possíveis animações, a definição de mudanças na aparência de alguns objetos virtuais de acordo com as interações realizadas, a definição de sensores com atuação nos objetos, a definição de lógicas envolvidas e a combinação entre os sensores e as ações programadas. As programações foram feitas pelo próprio pesquisador, utilizando as linguagens LSL e OSSL. Alguns trechos de programação foram aproveitados de *scripts* disponíveis gratuitamente na Internet, o que facilitou muito o desenvolvimento de algumas funções. As programações foram associadas a cada objeto cuja interação ou animação estava prevista.

Figura 50 - Exemplo de Programação



Fonte: elaborada pelo autor

A Figura 50 apresenta um exemplo de programação implementada. O aluno pode abrir as gavetas de ferramentas e transferir individualmente cada ferramenta para a bancada de trabalho e vice-versa. Ao clicar sobre uma ferramenta através do botão esquerdo do mouse, é executado um trecho do *script* que abre uma janela de texto indicando ao aluno qual nome e código da ferramenta clicada. Além disso, o *script* abre uma janela de comunicação com o usuário, perguntando se é desejado transferir a ferramenta para a bancada de trabalho. Se a resposta for positiva, o *script* transfere a posição do objeto (ferramenta) para uma determinada coordenada (x, y, z) que se situa sobre a bancada de trabalho. O *script* do objeto deste exemplo também possui a programação para fazer desaparecer do ambiente a ferramenta quando a sua gaveta for fechada. Esta mesma programação foi feita para cada uma das ferramentas disponíveis em duas gavetas de cada posição de trabalho, as quais são praticamente iguais às utilizadas na organização para as operações de montagem eletromecânica.

Algumas figuras adicionais ilustram a modelagem realizada. Na Figura 51 pode ser vista uma parte da sala de montagem mecânica da FVA (Fábrica Virtual de Aprendizagem), onde a maioria das atividades deve ser realizada, inclusive a atividade relacionada ao exemplo anterior. A Figura 46

Figura 51 - Modelagem da Montagem Eletromecânica



Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 52 consta à esquerda uma foto do corredor da fábrica real e à direita a modelagem da fábrica virtual, que incluiu um corredor para a circulação de AGVs.

Figura 52 - Fábrica Real e Modelagem da FVA



Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 53 podem ser vistas modelagens da estação de prevenção de ESD, onde os alunos podem obter as calcanheiras ESD para o calçado esquerdo e direito, a pulseira ESD e devolvê-las. No equipamento de teste há um monitor para interações com o aluno, além dos pontos de medição, botão para seleção entre os dispositivos e local para inserção do plugue da pulseira ESD sob teste. Para que os dispositivos ESD sejam aprovados o usuário necessita seguir corretamente uma sequência de operações pré-estabelecidas. Cada calcanheira e pulseira ESD é considerada um “dispositivo IoT”, que possibilita registrar a sua presença e resultado dos testes diários, sendo posteriormente lidos por sensores na entrada da sala de montagem, quando o usuário passa pela faixa amarela da entrada.

Figura 53 - Modelagem da Estação de Prevenção de ESD



Fonte: Elaborada pelo autor

Na bancada de trabalho da sala de montagem virtual foram modelados a maioria dos objetos utilizados na implementação-piloto e alguns desses objetos tiveram o seu funcionamento simulado. Por exemplo, o ionizador de ar pode ser ligado, desligado e a intensidade de ventilação pode ser variada através de um botão. O objeto acende e apaga um *led* quando está ligado e simula a variação de ventilação através do giro de uma hélice virtual. O botão de ajuste da velocidade de ventilação também gira, de quando com a interação do usuário. Na Figura 54 podem ser vistos alguns objetos que foram modelados, além do monitor de computador que apresenta uma das telas do *checklist* virtual. Neste *checklist*, o aluno deve marcar cada item verificado em um botão individual. Ao clicar em cada botão, a sua cor alterna entre vermelho (representando que o item verificado não está correto) e verde (representando que o item verificado está correto).

Figura 54 - Modelagem da Bancada de Trabalho e *Checklist* Virtual

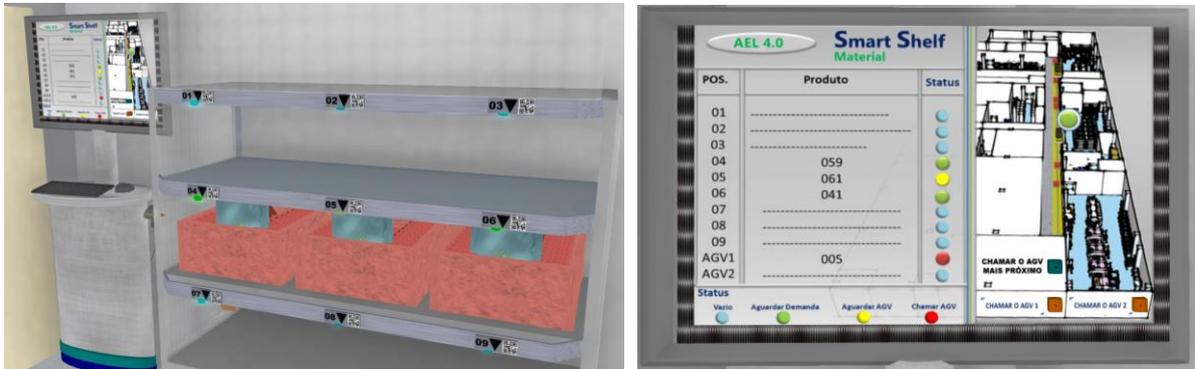


Fonte: Elaborada pelo autor

A modelagem da transferência de materiais e produtos foi feita vinculando *beacons* virtuais a cada bandeja. Isso possibilita identificar automaticamente a localização de cada bandeja nas *smart shelves*. Na *smart shelf* de materiais é possível identificar a localização de materiais na estante de materiais recebidos e nos AGVs, conforme exemplo da Figura 55. Neste exemplo, é identificada a localização de três kits de materiais na estante e um produto no AGV1. No mesmo terminal, que representa um MES (*Manufacturing Execution System*,

ou Sistema de Execução de Manufatura), há um botão para chamar o AGV mais próximo, um para chamar o AGV1 e outro para chamar o AGV2.

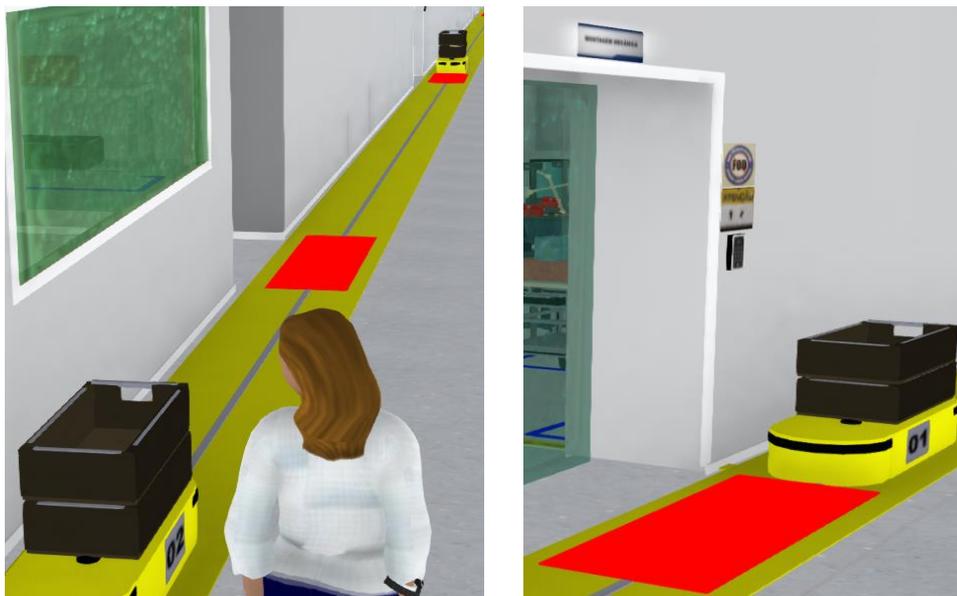
Figura 55 - Modelagem do *Smart Shelf*



Fonte: Elaborada pelo autor

Cada AGV pode ser acionado através dos botões no terminal do MES virtual, ou através de uma interação direta com cada AGV. Nesse último caso, o usuário pode definir a distância que o AGV deve percorrer e em qual sentido. Os AGVs modelados possuem um *script* de segurança, que os fazem reduzir a velocidade quando passam na frente de portas e parar no caso de identificarem algum obstáculo no caminho. Além disso, sempre que um usuário pisar sobre a faixa de segurança dos AGVs é mostrada uma mensagem. Na Figura 56 pode ser visto na imagem da direita o local de parada do AGV quando ele é solicitado através do MES da sala de montagem eletromecânica.

Figura 56 - Modelagem dos AGVs



Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme previsto no método e sugerido por Grajewski et al. (2015), a verificação da modelagem residuiu na avaliação da geometria dos modelos 3D usados na simulação, a operação correta das interfaces com o usuário e a funcionalidade como um todo da aplicação em RV (no caso, o visualizador *Singularity* conectado ao servidor *OpenSim*). A avaliação foi feita pelo próprio pesquisador a implementação da modelagem foi considerada satisfatória.

A validação da modelagem estava prevista de ser realizada através de testes com usuários que fossem representativos de futuros alunos e instrutores. No entanto, devido à pandemia do COVID-19, durante o ano de 2020, ocorreram várias restrições de acesso aos funcionários da organização. Devido a tais restrições, decidiu-se validar a modelagem apenas com dois membros da equipe de implementação. A equipe tomou essa decisão consciente dos riscos de falhas serem identificadas apenas durante a fase de utilização do sistema pelos usuários, durante a implementação-piloto. Justamente por tratar-se ainda de um piloto, este risco foi considerado aceitável. No Quadro 43 constam as observações dos avaliadores e as disposições tomadas, conforme critérios estabelecidos no passo 3.4 do método.

Quadro 43 - Níveis de Tecnologia

Critério de Validação	Observações dos Avaliadores	Disposição
Navegação no Cenário	Um dos avaliadores manifestou preocupação em deixar os alunos “livres” para caminharem no Mundo Virtual, podendo resultar em perda de efetividade da capacitação.	Nas atividades na fábrica, os usuários serão direcionados diretamente pra os locais de realização das tarefas.
Compleitude	Considerado adequado o layout futuro, o que pode ser útil aos operadores atuais irem se acostumando ao que está planejado ser implementado, além das tecnologias ainda não existentes.	Manter como foi modelado.
Comportamento dos Objetos	A simulação do comportamento dos objetos foi considerada bastante adequada.	Manter como foi modelado.
Realismo	Equipamento de teste de dispositivos ESD deveria ser uma réplica mais fiel do equipamento atual	Ajustar o modelo do equipamento de teste ESD para maior realismo.
Imersão	Considerado adequado e de acordo com o nível planejado.	Manter como foi modelado.
Interação	Considerado adequado e de acordo com o nível planejado.	Manter como foi modelado.

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.4 Construção Didática (Etapa 4)

O design instrucional foi focado no escopo definido para a implementação-piloto, iniciando com a revisão dos dados obtidos na FS4 a partir da decisão tomada em relação às tecnologias de RV adotadas, considerando eventuais restrições quanto às tecnologias num cenário de uso futuro. Conforme já havia sido antecipado, a escolha do *OpenSim* como plataforma de RV restringiu o nível de imersão, impactando no nível de proficiência máximo esperado para a competência de visualização. Esta foi uma decisão consciente e não resulta na necessidade de alguma revisão adicional, apenas deve ser considerado no passo de avaliação de tal competência, que o máximo de proficiência esperado de um aluno ao utilizar o sistema é aquele propiciado pelo mundo virtual *OpenSim*.

O próximo passo consistiu em executar algumas atividades que visaram identificar mais detalhadamente o contexto de aplicação das competências. Foram obtidas informações sobre treinamentos hoje existentes na organização e materiais utilizados em tais treinamentos, inclusive provas utilizadas para avaliação dos alunos ao término de treinamentos. Dois dos treinamentos hoje oferecidos de forma convencional precisam ser repetidos anualmente pelos funcionários da organização. Estes englobam os conteúdos de ESD e FOD.

Mesmo com restrições de acesso a muitos funcionários, alguns foram entrevistados, visando identificar impressões sobre os treinamentos já existentes e lacunas de aprendizado em relação às metas de proficiência previamente estabelecidas. As principais lacunas identificadas foram as seguintes:

- algumas competências não são desenvolvidas através de capacitações existentes (desenvolve-se apenas na prática, quando o funcionário já está atuando no produto, aumentando os riscos);
- a forma de avaliação dos treinamentos existentes é falha, visto que muitas das perguntas do questionário de avaliação podem ser respondidas sem conhecimento prévio sobre os assuntos, apenas pelo bom senso;
- há muito pouca atividade prática, portanto há poucas oportunidades de assimilação dos conteúdos durante os treinamentos;
- os treinamentos EAD existentes são muito pouco interativos.

Conforme modelo de estratégia instrucional, a primeira atividade prevista de ser executada pelos alunos é a preparação. Para essa atividade, foi modelado um ambiente específico; um pequeno prédio contendo um circuito no qual os alunos devem percorrer para desenvolver a capacidade de movimentação no mundo virtual, assim como a de visualização

3D. A Figura 57 mostra o ambiente virtual que foi desenvolvido exclusivamente para a preparação dos alunos.

Visando garantir que os alunos atinjam um nível mínimo de familiarização com o Mundo Virtual e assim consiga movimentar seu avatar e visualizar o ambiente sem maiores dificuldades, o circuito foi elaborado com certo grau de dificuldade. Foi definido como meta, que o aluno percorra o circuito completo sem que o seu avatar pise sobre a faixa amarela que define o circuito. Caso o aluno pise sobre a faixa, ele deverá reiniciar o circuito de seu ponto de início (conforme pode ser visto na imagem da esquerda na Figura 57). Todos os comandos possíveis para movimentação e mudança do ângulo de visualização do avatar são indicados em dois painéis, o primeiro, mostrando como movimentar o avatar através do teclado e o segundo no meio do circuito, onde é apresentada a forma de visualização em primeira pessoa (imagem da direita na Figura 57).

Figura 57 - Exercício de Preparação dos Usuários



Fonte: Elaborada pelo autor

As próximas atividades a serem executadas pelos alunos, de acordo com o item 4.4.2.1, são as experiências instrucionais do LVDC (Laboratório Virtual para Domínio Cognitivo). Para que isso fosse possível, tornou-se indispensável modelar no Mundo Virtual vários ambientes adicionais na plataforma *OpenSim*. Ou seja, a modelagem 3D, descrita no método como parte da Etapa 3, necessitou também ser feita na Etapa 4, visando habilitar o ambiente virtual a receber os experimentos didáticos.

Para modelar o LVDC foi construído no *OpenSim* um prédio isolado, onde os alunos deverão ser orientados a executar as atividades antes de irem à fábrica virtual executar as tarefas mais autênticas, similares à realidade. O principal objetivo do LVDC neste contexto de aplicação foi desenvolver conceitos mais complexos na mente dos aprendizes, em outras

palavras, explicar o porquê de algumas coisas serem feitas. Estes conceitos são os relacionados à ESD (“EletroStatic Discharge”, ou descarga eletrostática) e FOD (“Foreign Object Damage”, ou Dano por Objetos Estranhos). Para cada um desses assuntos foi desenvolvido um laboratório, portanto todas as fases do LVDC representadas no modelo de estratégia instrucional proposto devem ser seguidas pelos alunos em cada um dos dois laboratórios. Cada laboratório ocupou um andar do prédio virtual modelado.

O LVDC, por não ter um compromisso muito grande com o realismo, permite a criação de atividades mais lúdicas. Por este motivo, foi decidido simular como se o avatar fosse miniaturizado ao entrar pela primeira porta do LVDC. Isso visou justificar que as dimensões dos objetos no LVDC fossem muito maiores (cerca de 3 vezes) do que o tamanho proporcional ao avatar, propiciando que o avatar pudesse circular mais facilmente no LVDC (com mentores limitações de espaço) além de o aluno observar mais facilmente o resultado de suas interações. Outra definição para a modelagem do LVDC foi utilizar ao máximo os objetos modelados na Etapa 3, bastando aumentar de tamanho suas réplicas no Mundo Virtual. Por exemplo, as ferramentas de trabalho da sala de montagem eletromecânica foram aproveitadas nos exercícios do laboratório de FOD. Da mesma forma, para o laboratório de ESD foram aproveitados alguns objetos e programações, como o equipamento de testes de dispositivos ESD e o ionizador de ar.

No laboratório de FOD, modelado no primeiro andar do prédio virtual, foram construídas duas salas para as experiências concretas dos alunos. A primeira delas refere-se à prática com o *checklist* virtual. Nesta sala, foi modelada uma versão simplificada do *checklist* completo da sala de montagem eletromecânica. Nela consta um painel com os objetivos do exercício, um armário com uma gaveta contendo ferramentas, um monitor que simula o *checklist* virtual e uma bancada de trabalho. O exercício possui duas etapas: na primeira o aluno deve preencher o *checklist* refletindo a realidade encontrada no local de trabalho virtual e na segunda etapa o aluno deve interagir no mundo virtual para corrigir os problemas encontrados. Dessa forma, as seguintes competências são desenvolvidas: organização de ferramentas, sensibilidade a problemas, correção de falhas e capacidade de visualização.

Na Figura 58 é mostrado o avatar que representa um aluno interagindo com o *checklist* virtual. No plano da frente da imagem há a gaveta de ferramentas aberta e à esquerda o painel de instruções. No início do exercício é definida uma condição na qual há algumas ferramentas fora do lugar e faltantes na gaveta. Ao término do exercício, o aluno deve clicar sobre a placa de identificação de setup da estação de trabalho, localizada na parte superior do terminal. Quando isso acontece, a placa muda para cor verde. Foram definidos alguns parâmetros para avaliar o desempenho, explicados mais adiante e mostrados no Quadro 45.

Figura 58 - Prática com o *Checklist* Virtual no Laboratório de FOD



Fonte: Elaborada pelo autor

A segunda atividade prática trata-se de um desafio no qual os alunos devem localizar numa sala todos os sete “FOs” (objetos estranhos), classificá-los corretamente e guardá-los num armário. A porta da sala é novamente aberta somente depois que todos os “FOs” forem corretamente classificados e depois deslocados para o armário principal. Na Figura 59 pode ser visto o avatar de uma aluna encontrando um “FO” (neste caso, uma ferramenta fora do local adequado), próximo de uma bandeja de produtos. Essa atividade de ensino e aprendizagem lembra o entretenimento do tipo “escape game”, o qual é realizado em uma sala real específica, na qual as pessoas necessitam resolver um ou mais enigmas para poderem sair. Segundo Veldkamp (2020), em paralelo com a imensa popularidade na indústria do

entretenimento, os *escape games* estão ganhando popularidade como ambientes de ensino e aprendizagem.

Figura 59 - Prática “Encontre os FOs” no Laboratório de FOD



Fonte: Elaborada pelo autor

Além dos dois exercícios, há no ambiente principal alguns materiais instrucionais sobre o conteúdo (FOD), apresentados em painéis, além de um *podcast*, e um local para o aluno assistir um vídeo, conforme pode ser visto na Figura 60. Estes materiais devem contribuir para a conceptualização abstrata, conforme previsto no modelo de estratégia instrucional.

Figura 60 - Materiais Instrucionais do Laboratório de FOD



Fonte: Elaborada pelo autor

Visando posteriormente avaliar o nível de proficiência do aluno em cada uma das competências, para o laboratório de FOD foram definidas algumas variáveis de desempenho do aluno, conforme Apêndice H. Estas variáveis foram relacionadas às competências escolhidas pra desenvolver através do método.

O laboratório de ESD foi modelado no segundo andar no LVDC. Por envolver conceitos mais complexos do que os de FOD, foi necessário desenvolver um maior número de atividades práticas e de experimentação do que o primeiro. Na primeira sala foi modelado o experimento de balões, no qual os alunos podem movimentar os balões pela sala e colidi-los com paredes de materiais diferentes para demonstrar o efeito do acúmulo de cargas eletrostáticas em determinados materiais e a interação com os balões. Botões podem ser utilizados para neutralizar as cargas elétricas ou para mostrar as cargas elétricas nos materiais.

A Figura 61 mostra o experimento dos balões. Na imagem da direita o aluno interage com um balão ao mesmo tempo em que ele arranca elétrons do material da parede. Na imagem da esquerda pode ser visto o painel de instruções do experimento, onde também consta um questionário para o aluno preencher ao final do experimento. O experimento só é considerado concluído quando o aluno acertar todas as questões. Para interagir com o aluno, além de ser mostrada uma mensagem indicando se o aluno acertou ou não a questão, junto a cada questão há uma lâmpada virtual que fica na cor vermelha quando o aluno erra a resposta e verde quando acerta.

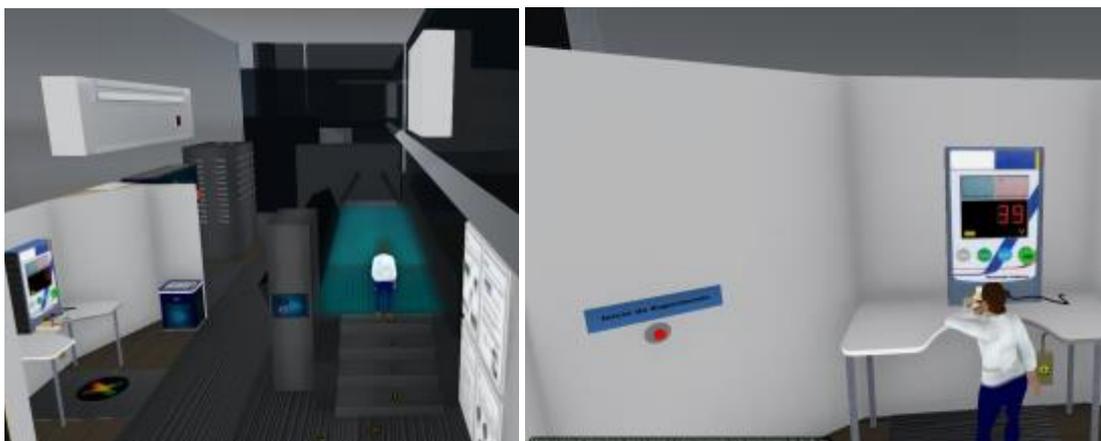
Figura 61 - Prática de Experimento com Balões no Laboratório de ESD



Fonte: Elaborada pelo autor

Além do experimento com balões, no laboratório de ESD também foi modelado um acumulador de cargas. Trata-se de um experimento para reforçar aos alunos a importância da utilização dos equipamentos de prevenção de ESD, em especial as calcanheiras. Há uma esteira sobre a qual o aluno, através do seu avatar, deve percorrer e assim acumular eletricidade estática no seu calçado e ao final medir a carga elétrica acumulada através de um medidor de carga tribo elétrica. Para dar maior realismo, foi modelado o movimento da esteira, incluindo certa resistência mecânica. O aluno deve executar o experimento com e sem calcanheiras e variando a umidade do ambiente, através do acionamento de um ar condicionado (para baixar a umidade relativa do ar) e um umidificador de ar. Na imagem do lado esquerdo da Figura 62 pode ser visto o avatar do aluno na parte inicial da esteira. Já na imagem do lado direito é mostrado o avatar do aluno fazendo a medição da carga acumulada após percorrer a esteira. Ao final, o aluno deve responder um questionário.

Figura 62 - Prática do Acumulador de Cargas no Laboratório de ESD



Fonte: Elaborada pelo autor

As demais atividades no laboratório de ESD são mais diretamente relacionadas a tarefas que os alunos precisam executar na preparação para o trabalho na bancada de montagem eletromecânica, incluindo o teste de calcanheiras e pulseira ESD (Figura 63), a operação do ionizador de ar (Figura 64) e finalmente há um exercício para o reconhecimento de alguns itens de prevenção de ESD (Figura 65).

Figura 65 - Prática “Desafio Materiais ESD” no Laboratório de ESD



Fonte: Elaborada pelo autor

Da mesma forma como no laboratório de FOD, no de ESD também há alguns materiais instrucionais apresentados em painéis e também um *podcast* e um vídeo, de acordo com a Figura 66. As variáveis de desempenho do aluno no laboratório de ESD também são apresentadas no Apêndice H.

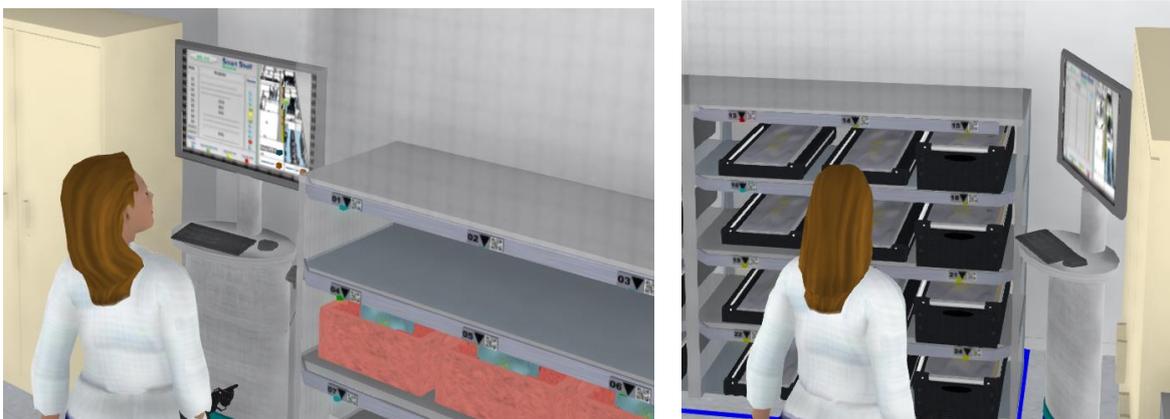
Figura 66 - Materiais Instrucionais do Laboratório de ESD



Fonte: Elaborada pelo autor

Considerando que a modelagem da FVA já havia sido feita anteriormente, a construção didática consistiu em definir quais atividades autênticas os alunos devem realizar. Considerando que fora definido que as competências “digitransacionais” não seriam definidas no LVDC, mas apenas na FVA, foi dada maior ênfase às atividades instrucionais relacionadas às tecnologias da Indústria 4.0. Um exemplo é a operação das *smart shelves*, conforme ilustrado na Figura 67.

Figura 67 - *Smart Shelves* na FVA

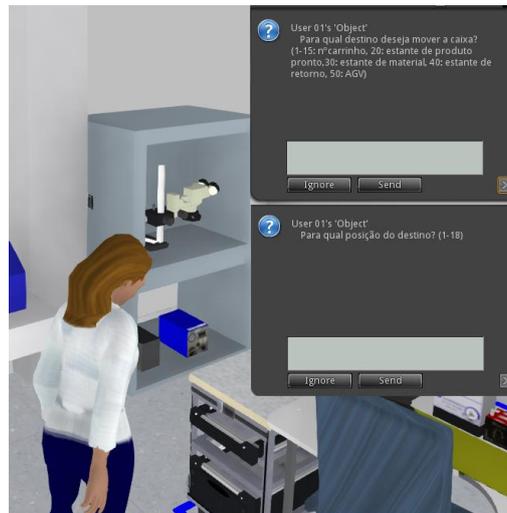


Fonte: Elaborada pelo autor

As atividades instrucionais desenvolvidas podem ser resumidas nas demandas apresentadas ao aluno, na forma de problemas a serem resolvidos, sendo estes associados às atividades anteriormente definidas. Para orientar os alunos em relação aos objetivos, foi implementado um pequeno totem na sala de montagem eletromecânica, no qual é informado o objetivo do exercício após o mesmo ser acionado. As atividades necessárias para o aluno concluir com êxito o exercício são as seguintes:

- colocar as calcanheiras e a pulseira;
- testar e aprovar as calcanheiras e pulseira no equipamento de teste;
- mover os produtos prontos, que estão indevidamente na estação de trabalho, para o armário de produtos prontos (conforme Figura 68);

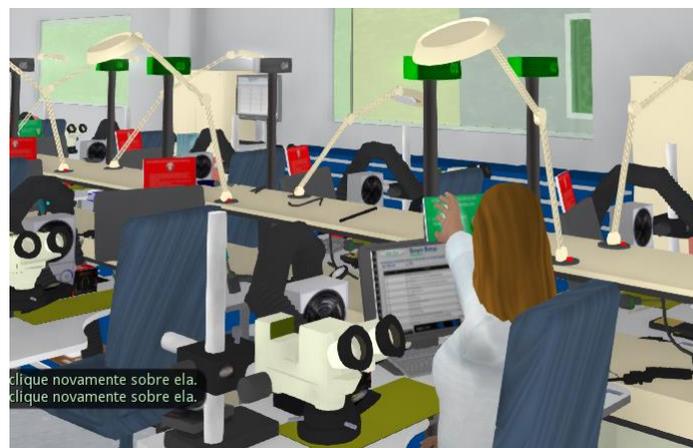
Figura 68 - Deslocamento de Bandejas de Produto Pronto



Fonte: Elaborada pelo autor.

- localizar o kit de materiais para a montagem da ordem de produção na estação de trabalho;
- acionar o AGV para transportar o kit de materiais para a sala de montagem eletromecânica;
- transferir o kit de materiais para a estação de trabalho, após o mesmo ser trazido pelo AGV;
- executar o *checklist*, verificando todos os itens que devem ser corrigidos, inclusive materiais com data de validade vencida, se houver;
- corrigir os problemas na área de trabalho, tais como ferramentas fora da gaveta, materiais estranhos à operação (FOD);
- finalizar o *checklist*, acionando a placa de conclusão de *setup*, conforme Figura 69.

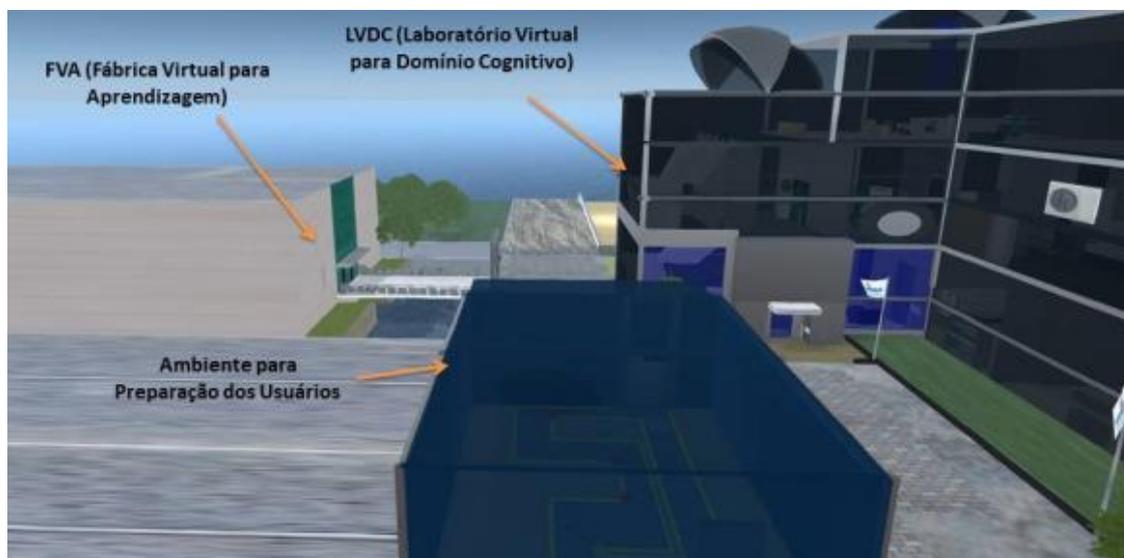
Figura 69 - Finalização do último exercício na FVA



Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 70 apresenta uma visão panorâmica dos três prédios virtuais modelados para a aplicação do método: o ambiente para preparação dos usuários, o LVDC e a FVA.

Figura 70 - Visão Panorâmica do Mundo Virtual Modelado



Fonte: Elaborada pelo autor

A implementação das experiências interativas previstas na etapa de desenvolvimento instrucional foi possível graças às programações (*scripts*) desenvolvidas especialmente para a implementação-piloto e atribuídas aos objetos. O pesquisador aproveitou o conhecimento prévio nas linguagens LSL e OSSL, além de uma vasta biblioteca de *scripts* de existentes gratuitamente na Internet, os quais muitas vezes serviram de base para a execução de algumas funções. Segue o exemplo de um trecho de “*script*” desenvolvido para chamar o AGV até a entrada da sala de montagem.

O trecho de *script* apresentado na Figura 71 é associado a um botão de chamada do AGV 1 e é executado sempre que o usuário clicar com o mouse sobre ele. A função *touch* neste caso é ativada, e é mostrada uma mensagem na tela indicando que o AGV 1 vai ser chamado. Na sequência é verificado se a distância entre a posição atual do AGV e a entrada da sala é menor que 1,3 metros, nesse caso é mostrada uma mensagem de que o AGV já está bastante próximo e, portanto, não será chamado. Caso contrário, é mostrada uma mensagem indicando quantos metros o AGV 1 se deslocará até chegar na entrada da sala e então é enviado para o canal 1501 a informação de quantos metros ele deve ser deslocado. No AGV1 consta um *script* no qual um dos trechos faz a leitura constante do canal 1501 e caso seja recebida alguma informação compatível (valor representando a distância a percorrer), o AGV desloca-se pela sua trilha. O sentido de movimentação dos AGVs é invertido caso o valor

transmitido seja negativo. Assim como este exemplo, foram desenvolvidos vários outros *scripts* e utilizados dezenas de canais de comunicação para interação dos objetos entre si e com os usuários. A lista completa de *scripts* desenvolvidos consta no Apêndice H.

Figura 71 - Trecho do *Script* Botão AGV1

```

600
601
602 touch_start(integer n) {
603
604     // float posinicio2=realagv2-147.75865-0.5;
605
606     escolhido = 1;
607     llSay(0, "Chamado o AGV " + (string)escolhido);
608
609     if (escolhido == 1)
610     {
611         if (llFabs(distabast1) <=1.3) {
612             llSay(0, "Ele já está bem próximo, portanto não se movimentará");
613         }
614         else {
615             llSay(0, "Ele se deslocará por " + (string)distabast1 + " metros, caso não seja bloqueado
no caminho");
616
617             llSay (1501, (string)distabast1);
618         }
619     }
620 }
621
622
623
624

```

Fonte: Elaborada pelo autor

Da mesma forma como para o LVDC, na FVA foram definidos e implementados instrumentos de avaliação utilizando as diretrizes da FS6. No Apêndice J foram consolidados os instrumentos de avaliação para cada competência e no Apêndice I as variáveis de desempenho para avaliação dos alunos. Conforme recomendado pelo método, além de relacionar cada variável de desempenho com as competências, foram atribuídos pesos e uma fórmula de cálculo para mensurar a proficiência do aluno em relação a cada competência.

Conforme prescrito no passo 4.2 do método, o projeto instrucional foi consolidado na Matriz de Requisitos de Implementação, conforme Apêndice K.

5.2.5 Aplicação Inicial (Etapa 5)

A aplicação inicial, também chamada de implementação-piloto, iniciou pela definição de avaliadores pertencentes à equipe. O foco, como previsto no método, residiu em confrontar a implementação com os requisitos definidos na etapa anterior. Participaram 2 membros da equipe que possuíam mais disponibilidade e conhecimento do tema, que foram os membros 3 e 5 da equipe. Considerando que a modelagem já havia sido validada anteriormente, a avaliação buscou verificar os aspectos relacionados ao projeto instrucional. O resultado da avaliação foi submetido a todos os membros da equipe e a partir das observações dos avaliadores foram definidos alguns pequenos ajustes necessários no material instrucional dos

painéis virtuais. Como previsto no método, a verificação por estes membros da equipe não consistiu em testes exaustivos na implementação, mas apenas a verificação se os requisitos foram implementados e a navegação pelos ambientes virtuais.

O passo seguinte foi a seleção de usuários (alunos) para a realização de testes de validação. Buscou-se um grupo heterogêneo de usuários que fosse representativo dos perfis típicos de alunos para a capacitação na função definida na implementação piloto (montador eletromecânico). Foram escolhidas seis pessoas da organização, conforme perfis mostrados no Quadro 44. Dentre os participantes, foram escolhidos 3 com alguma experiência na função e 3 com nenhuma experiência.

Quadro 44 - Usuários Selecionados

Aluno	Idade	Tempo de Experiência Profissional	Tempo de Experiência na Função	Grau de Familiaridade com Informática	Grau de Familiaridade com Jogos Eletrônicos
1	21	2 anos	0 meses	Medio	Medio
2	24	3 anos	0 meses	Alto	Medio
3	27	6 anos	0 meses	Alto	Medio
4	20	1 ano	1 ano	Alto	Alto
5	37	15 anos	5 anos	Medio	Baixo
6	42	20 anos	8 anos	Baixo	Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi agendado individualmente com cada usuário sessões de no máximo 1 hora para a realização de cada atividade instrucional. A cada aluno foram explanadas as motivações da pesquisa e reforçados os aspectos de anonimato quanto ao uso das informações coletadas. Durante a execução das atividades, os alunos foram acompanhados por um membro da equipe para apoiá-los quanto à sequência das atividades. O setup utilizado para as atividades foi um *laptop Dell Inspiron* com micro processador i7, placa gráfica NVIDIA GeForce GTX 960M, teclado, *mouse* e monitor de 15,6 polegadas.

Visando o registro posterior das variáveis de desempenho, a tela com a interação dos alunos no mundo virtual foi gravada em vídeo utilizando o software *Movavi Studio Suite*. Outra opção para coleta dos dados seria modelar sensores no mundo virtual e configurar um

banco de dados, porém este esforço de desenvolvimento não foi priorizado. Os vídeos também foram utilizados para análise qualitativa da interação dos alunos com o mundo virtual, contribuindo para a identificação de pontos de melhoria.

A seguir serão apresentadas as observações e os dados coletados referentes à execução de cada atividade pelos alunos.

5.2.5.1 Preparação

Como esperado, o aluno 4, que apresentava maior experiência prévia com jogos eletrônicos, fez o percurso com menor tempo, embora tenha necessitado de 3 tentativas. Os outros alunos com alguma experiência prévia em jogos eletrônicos (1,2 e 3) demonstraram certa desenvoltura na movimentação do avatar, facilmente movimentando-o com o teclado ao longo da execução do exercício de preparação. Os demais usuários tiveram dificuldades em graus diferentes, mas um fato importante é que todos conseguiram concluir com êxito o exercício dentro do tempo máximo estipulado (15 minutos). Ao ser apresentado o desafio de concluir o percurso sem tocar nas faixas amarelas, percebeu-se que os alunos se sentiram desafiados e motivados.

As variáveis de desempenho registradas foram as seguintes: quantidade de tentativas até a conclusão do exercício, tempo de conclusão do percurso e tempo total para execução do exercício, conforme o Quadro 45. O desempenho de cada aluno foi classificado em uma entre quatro categorias. Os alunos 3 e 4 foram classificados na categoria “A”; estes apresentaram o melhor desempenho, realizando o desafio rapidamente e foram necessárias poucas tentativas. Ambos já apresentavam alguma experiência prévia com jogos eletrônicos. Na categoria “B” ficou apenas o aluno 6, embora tenha sido o que mais demorou para finalização, não cometeu nenhum erro. Na categoria “C” ficou o aluno 1, que teve um desempenho mediano e na categoria “D” ficaram os alunos 2 e 5, os quais tiveram o pior desempenho. Concluiu-se que embora a experiência prévia do aluno com jogos eletrônicos possa resultar numa maior desenvoltura do aluno no mundo virtual, este não deve ser considerado um pré-requisito.

Após a conclusão do exercício, os alunos tiveram mais cerca de 30 minutos para ambientação no mundo virtual, deslocando-se pelos ambientes, porém ainda sem interagir com os objetos.

A aplicação do método sofreu um grande revés pouco tempo após a etapa de preparação dos alunos. A pandemia do COVID-19 em 2020 causou um impacto significativo nas organizações, inclusive na utilizada para a tentativa de aplicação. As atividades de

produção foram severamente limitadas devido às restrições impostas e por muitas semanas a maioria dos funcionários do escritório adotou o regime de trabalho remoto. Por este motivo, além da continuidade da aplicação do método ter atrasado vários meses em relação ao cronograma inicial, o número de alunos inicialmente previsto, e que chegou a passar pela etapa de preparação, acabou tendo que ser reduzido à metade. Os funcionários que puderam ser disponibilizados foram os de número 1 a 3.

Quadro 45 - Desempenho no Exercício de Preparação

Aluno	Tempo de Percurso (s)	Tempo Total (s)	Número de Tentativas	Categoria
1	51	179	4	C
2	94	649	6	D
3	85	85	1	A
4	29	103	3	A
5	128	695	8	D
6	202	202	1	B

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.5.2 Práticas no LVDC FOD

A infraestrutura para aplicação nos laboratórios virtuais foi praticamente a mesma da etapa de preparação. As únicas diferenças foram: a adoção de cuidados especiais para prevenir o contágio do vírus associado à COVID-19 e a conexão do computador à internet. A internet foi necessária para o acesso aos vídeos e áudios armazenados na nuvem e acessados pelos alunos através de painéis nos laboratórios virtuais.

No laboratório de FOD todas as atividades foram finalizadas com êxito. Além dos 3 alunos terem finalizado as atividades dentro do tempo previsto, a quantidade de tentativas foi baixa. Existiu um pouco de dificuldade na visualização das ferramentas no interior das gavetas (prática do *checklist*), mas após algum tempo os alunos adquiriram a prática necessária. A ideia de representar os objetos muito maiores do que em relação ao avatar (“miniaturização do avatar”) demonstrou-se ser adequada, pois isso evitou alguma resistência maior que os alunos pudessem vir a ter relativo a algumas dificuldades de locomoção e visualização em ambientes menores.

As variáveis de desempenho dos alunos foram resumidas no Quadro 46. Foi acrescentada uma variável a mais em relação às de desempenho: o tempo utilizado pelo aluno para acessar o material instrucional. Este dado visa auxiliar na avaliação do comportamento de cada aluno no mundo virtual. Comparando os dados, percebe-se que o aluno 1 destacou-se por não ter cometido nenhum erro na execução dos exercícios e ao mesmo tempo por ter dedicado mais tempo do que os demais para a execução dos exercícios e para acessar o material instrucional. Como o tempo de execução estipulado para as atividades de cada sala não foi ultrapassado, o fato de esse aluno ter levado mais tempo que os demais não é um fato negativo, podendo, ao contrário, ser interpretado como algo positivo. Ao observar este aluno durante a execução dos exercícios, percebeu-se que este de fato era mais cuidadoso e executava cada atividade com maior zelo que os demais.

Quadro 46 - Variáveis Coletadas no LVDC FOD

Variáveis	Aluno		
	1	2	3
t1: tempo de execução da primeira parte do exercício da sala 1	11:05	01:45	07:24
t2: tempo de execução da segunda parte do exercício da sala 1	01:51	00:50	02:57
t3: tempo de execução do exercício na sala 2	10:17	05:50	11:15
e1: quantidade de erros na primeira parte do exercício da sala 1	0	0	0
e2: quantidade de erros na segunda parte do exercício da sala 1	0	0	1
e3: quantidade de erros no exercício da sala 2	0	2	6
q1: percentual de acertos no questionário sobre FOD	100%	100%	100%
ta1: tempo de acesso material instrucional	13:47	11:34	11:30

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final de cada atividade de laboratório virtual, foi submetido aos alunos a mesma avaliação que vinha sendo utilizada nos treinamentos convencionais da organização e um dado muito positivo é o fato de que os 3 alunos acertaram 100% das perguntas sobre o conteúdo de FOD.

5.2.5.3 Práticas no LVDC ESD

No laboratório virtual de ESD todas as atividades foram executadas com êxito pelos alunos, apesar de algumas dificuldades, como listado a seguir:

- no experimento com balões, os alunos não conseguiram mover os balões por todos os locais desejados, restringindo a retirada de cargas elétricas do quadro;
- no testador de calcanheiras e pulseiras, o Aluno 3 acessou algumas funções de manipulação de objetos que não estavam previstas na modelagem e acabou removendo um objeto, sendo necessário restaurar o testador;
- no vídeo sobre ESD (parte do material instrucional), ao invés de ser mostrado o vídeo desejado foi mostrado o vídeo da sala de FOD, sendo necessário ajustar manualmente para os alunos assistirem o vídeo correto.

Quadro 47 - Variáveis Coletadas no LVDC FOD

Variáveis	Aluno		
	1	2	3
t4: tempo de execução do experimento dos balões.	0:07:01	0:09:50	0:07:55
t5: tempo de execução do experimento do acumulador de cargas.	0:40:22	0:21:50	0:28:53
t6: tempo de execução da atividade de teste das calcanheiras e pulseira.	0:10:10	0:11:15	0:28:30
t7: tempo de execução da atividade de operação do ionizador de ar.	0:04:43	0:03:05	0:07:32
t8: tempo de execução do “desafio materiais ESD”	0:04:35	0:02:50	0:03:56
e4: quantidade de erros no teste de calcanheiras e pulseira	1	1	1
e5: quantidade de erros no ajuste do ionizador de ar	0	0	0
q2: quantidade de erros no Quiz do experimento dos balões.	0	0	1
q3: quantidade de erros no Quiz do experimento do acumulador de cargas.	3	0	2
q4: quantidade de erros no Quiz do experimento do ionizador de ar	0	0	0
q5: quantidade de erros no “desafio materiais ESD”	1	2	1
q6: percentual de acertos no questionário sobre ESD	86,70%	73,30%	100%
ta2: tempo acesso material instrucional	0:27:10	0:15:23	0:22:45

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao avaliar tais ocorrências concluiu-se que deveriam ter sido identificadas na fase de validação da modelagem, porém em tal fase não foram contemplados testes exaustivos. Como melhorias para o método, sugere-se intensificar a realização de testes nas fases de verificação e validação. Os alunos puderam finalizar todas as atividades, mas foi necessária uma maior intervenção externa (pesquisador) ao longo da aplicação dos experimentos. Além disso, tais imperfeições poderiam vir a contribuir para uma redução na sensação de imersão.

No Quadro 47 estão as variáveis coletadas na aplicação das atividades de laboratório com os alunos. O Aluno 2 foi o que demonstrou maior destreza para realização das tarefas. Ele as executou em menos tempo que os demais e com menor quantidade de erros, porém foi o que apresentou menor pontuação no teste que foi aplicado sobre conhecimentos de ESD (mesmo teste aplicado ao final do treinamento convencional). Verificou-se que este aluno foi o que menos dedicou seu tempo para consultar o material instrucional e ao observá-lo durante a execução das tarefas, foi percebida certo grau de ansiedade para finalização das atividades.

5.2.5.4 Práticas na FVA

Na fábrica virtual os alunos percorreram a segunda parte do modelo de estratégia instrucional, iniciando pela experimentação ativa. Mais uma vez eles completaram com êxito todas as atividades, conforme resumido no Quadro 48. Os alunos demonstraram ter alcançado, a partir das práticas anteriores nos laboratórios, o que Kolb chamava de conceptualização abstrata. Esta conclusão foi baseada na observação dos alunos durante a execução dos exercícios e pela revisão posterior dos vídeos dos alunos executando as tarefas. Por exemplo, percebeu-se que a partir do resultado do experimento da esteira os alunos buscaram elaborar hipóteses que explicassem os resultados experienciados por eles no mundo virtual. Estas hipóteses foram confirmadas a partir de novas interações e pela resposta correta às perguntas direcionadas a eles.

Quadro 48 - Variáveis Coletadas no LVDC FOD

Variáveis	Aluno		
	1	2	3
t9: tempo de teste de calcanheira e pulseira	0:03:36	08:42	06:21
t10: tempo para setup do material com o AGV.	0:03:30	0:01:18	04:30
t11: tempo para setup dos produtos prontos.	0:01:40	03:56	05:19
t12: tempo de execução do checklist, incluindo a correção de FODs	21:10	53:00	25:40
q6: quantidade de erros no procedimento de teste de pulseiras e calcanheiras	0	1	2
q6: quantidade de erros setup do material com o AGV	0	1	0
q7: quantidade de erros no setup dos produtos prontos.	0	0	1
q8: quantidade de erros de execução do checklist	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

O Aluno 1 desta vez realizou as atividades em menor tempo que os demais e foi o que menos cometeu erros. O único erro foi também cometido pelos demais alunos: não foi levado em conta o fato de que um dos materiais estava com prazo de validade vencido ao executar o *checklist* virtual. Ao questionar os alunos sobre o fato de eles terem marcado o *checklist* mesmo com o material estando com o prazo vencido, os alunos alegaram que tinham pensado que o sistema não estava atualizado com a data de execução da atividade. Isso pode indicar que essa percepção dos alunos seja devido aos mesmos não estarem imersos no mundo virtual ou porque os mesmos tinham consciência de que o sistema de capacitação estava ainda numa fase de testes. Posteriormente os alunos responderam um questionário sobre a experiência deles ao utilizar o sistema (item 5.2) e relataram terem se sentido imersos.

Mais uma vez o Aluno 3 foi o que cometeu mais erros durante a execução dos exercícios. Ele demonstrou certa dificuldade em executar algumas atividades, principalmente aquelas que requeriam maior capacidade de visualização. Durante a execução do *checklist*, por exemplo, por alguns minutos o aluno pareceu ter ficado desorientado, sem saber o que fazer por vários segundos, conforme Figura 72. Foi verificado que este aluno foi o que demorou mais tempo para a execução do *checklist* virtual no LVDC FOD. A observação do aluno indicou que este foi o que teve maior dificuldade em aplicar na fábrica virtual as competências que teriam sido desenvolvidas nos laboratórios virtuais.

Figura 72 - Avatar do Aluno 3 na LFVA



Fonte: elaborado pelo autor

Os alunos demonstram interesse e destreza em realizar as atividades envolvendo as tecnologias da Indústria 4.0 que foram modeladas, mesmo não tendo conhecimento prévio sobre o assunto. Dessa forma, os alunos foram introduzidos a algumas tecnologias como se fosse de uma maneira natural. Ao buscar o material que se encontrava no AGV1, o Aluno 2 teve êxito, mas o fez de uma maneira não prevista. Ao invés de chamar o AGV até próximo da sala, através do painel, ele foi caminhando até o AGV e transferiu o material do seu local de origem.

Quadro 49 - Tabela com as Pontuações e Proficiências

ATIVIDADE	Nível de Proficiência Aluno 1							Nível de Proficiência Aluno 2							Nível de Proficiência Aluno 3						
	1.2	1.6	2.3	3.3	3.4	4.1	4.2	1.2	1.6	2.3	3.3	3.4	4.1	4.2	1.2	1.6	2.3	3.3	3.4	4.1	4.2
Colocação e Validação de Pulseira e Calcanheiras (A1)																					
Reconhecimento da necessidade de pulseira e calcanheiras (q7,t9)	-	10	-	-	10	-	-	-	8,0	-	-	8,0	-	-	-	7,5	-	-	7,5	-	-
Colocação de pulseira e calcanheiras (q7,t9)	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-	-	-	-	-	7,5	-	-
Teste de pulseira e calcanheiras (q7,t9)	10	-	-	-	10	10	10	8,0	-	-	-	8,0	8,0	8,0	7,5	-	-	-	7,5	7,5	7,5
Nível de Proficiência - A1	3,0	3,0	-	-	3,0	1,0	1,0	3,0	3,0	-	-	3,0	1,0	1,0	1,75	1,75	-	-	2,75	0,75	0,75
Abastecimento e Desabastecimento de Materiais (A3)																					
Interação com Smart Shelf para localização do material (q8,t10)	-	8,0	-	-	-	8,0	8,0	-	10	-	-	-	10	10	-	9	-	-	-	9	9
Interação com Smart Shelf para acionamento de AGV (q8,t10)	-	-	8,0	-	-	8,0	8,0	-	-	10	-	-	10	10	-	-	9	-	-	9	9
Interação com AGV para transferência de material (q8,t10)	-	-	8,0	-	-	8,0	8,0	-	-	10	-	-	10	10	-	-	9	-	-	9	9
Localização de espaços disponíveis no Smart Shelf (q9, t11)	-	-	-	10	-	10	10	-	-	-	10	-	10	10	-	-	-	7,5	-	7,5	7,5
Transferência de produtos para o Smart Shelf (q9, t11)	-	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-	-	7,5	7,5
Nível de Proficiência - A3	-	3,0	3,0	3,0	-	3,0	3,0	-	3,0	2,0	3,0	-	1,0	1,0	-	3,0	3,0	2,5	-	1,0	1,0
Setup de Bancada de Montagem e Reparo (A7)																					
Localização de ferramentas nos locais corretos (q10, t12)	10	-	-	10	10	-	-	7,5	-	-	7,5	7,5	-	-	8	-	-	8	8	-	-
Identificação de falhas: objetos fora do local correto (q10, t12)	-	10	-	10	10	-	-	-	7,5	-	7,5	7,5	-	-	-	8	-	8	8	-	-
Visualização de FODs (q10, t12)	-	10	-	10	10	-	-	-	7,5	-	7,5	7,5	-	-	-	8	-	8	8	-	-
Preenchimento de checklist virtual (q10, t12)	10	10	-	-	10	10	10	7,5	7,5	-	-	7,5	7,5	7,5	8	8	-	-	8	8	8
Transferência de objetos para o local correto (q10, t12)	10	10	10	-	10	-	-	7,5	7,5	7,5	-	7,5	-	-	8	8	8	-	8	-	-
Questionário de Avaliação do LCDC FOD (q1)	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	-
Quiz do Experimento de Balões (q2)	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	7,5	-	-
Quiz do Experimento do Acumulador de Cargas (q3)	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	6,7	-	-
Quiz do Experimento do Ionizador e Exaustor (q4)	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	-
Classificação dos materiais ESD (q5)	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	7,5	-	-
Nível de Proficiência - A7	3,0	3,0	2,0	3,0	4,0	2,0	2,0	2,75	2,75	2,75	2,75	4,0	1,75	1,75	3,0	3,0	2,0	3,0	4,0	2,0	2,0

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez coletados os dados de desempenho dos alunos buscou-se avaliar o nível de proficiência dos mesmos em relação às competências selecionadas. Como previsto no método, foi elaborada uma tabela para a conversão das variáveis de desempenho nos níveis de proficiência. No Quadro 49 constam as pontuações obtidas para cada atividade e cada aluno, as quais foram obtidas a partir da média entre as variáveis de desempenho associadas. A partir daí cada pontuação foi convertida em um nível de proficiência. Os níveis de proficiência que ficaram inferiores à meta estão assinalados na cor amarela, enquanto os que ficaram na meta estão na cor verde. Percebeu-se que o desempenho do Aluno 1 foi o melhor, sendo que em nenhuma atividade o nível de proficiência ficou abaixo da meta. O Aluno 2 teve desempenho abaixo da meta na atividade A7 devido ao tempo de execução do *setup* que ficou muito acima do limite. Já o Aluno 3 teve pior desempenho em todas as competências relacionadas à atividade A1 e em uma competência relacionada à atividade A7.

De acordo com o modelo de design instrucional proposto, a partir dos resultados obtidos, ambos os Alunos 2 e 3 deveriam repetir as atividades no ambiente virtual até obterem a proficiência mínima almejada. No entanto, tendo em vista se tratar da etapa de Aplicação Inicial, foi decidido revisar os resultados da aplicação do método e prever ajustes no sistema de capacitação antes que os alunos repetissem as atividades no Mundo Virtual.

5.3 AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA DOS ALUNOS

Adicionalmente à observação dos alunos durante a execução das atividades no mundo virtual e a coleta de variáveis de desempenho, após a execução das atividades foi enviado a cada aluno um questionário *online* através do *Google Forms*. O objetivo foi avaliar a experiência dos alunos ao utilizar o mundo virtual sob vários aspectos, agrupados em algumas classes de avaliação: dificuldade com a locomoção, visualização e interação com objetos, experiência com as atividades do LVDC FOD, LVDC ESD e FVA, percepção quanto ao desenvolvimento de competências, percepção quanto às características de realismo, imersão e interatividade e experiência com as atividades relacionadas a tecnologias da Indústria 4.0.

5.3.1 Locomoção, Visualização e Interação

Nesta classe de avaliação os alunos avaliaram o grau de dificuldade que tiveram quanto aos aspectos de locomoção, visualização e interação com os objetos. A escala de avaliação utilizada foi uma *Likert*, variando de 1 para baixa dificuldade e 5 para alta dificuldade. O Aluno 3 foi o que respondeu ter tido maiores dificuldades, conforme pode ser visto no Quadro 50. Quando perguntados sobre o exercício de preparação, todos concordaram

que foram úteis para adquirir habilidades de locomoção e visualização no ambiente virtual. Ao indagar os alunos sobre esta atividade, foi sugerido que a atividade de preparação também incluísse exercícios básicos de interação com os objetos virtuais.

Quadro 50 - Respostas quanto à Locomoção, Visualização e Interação

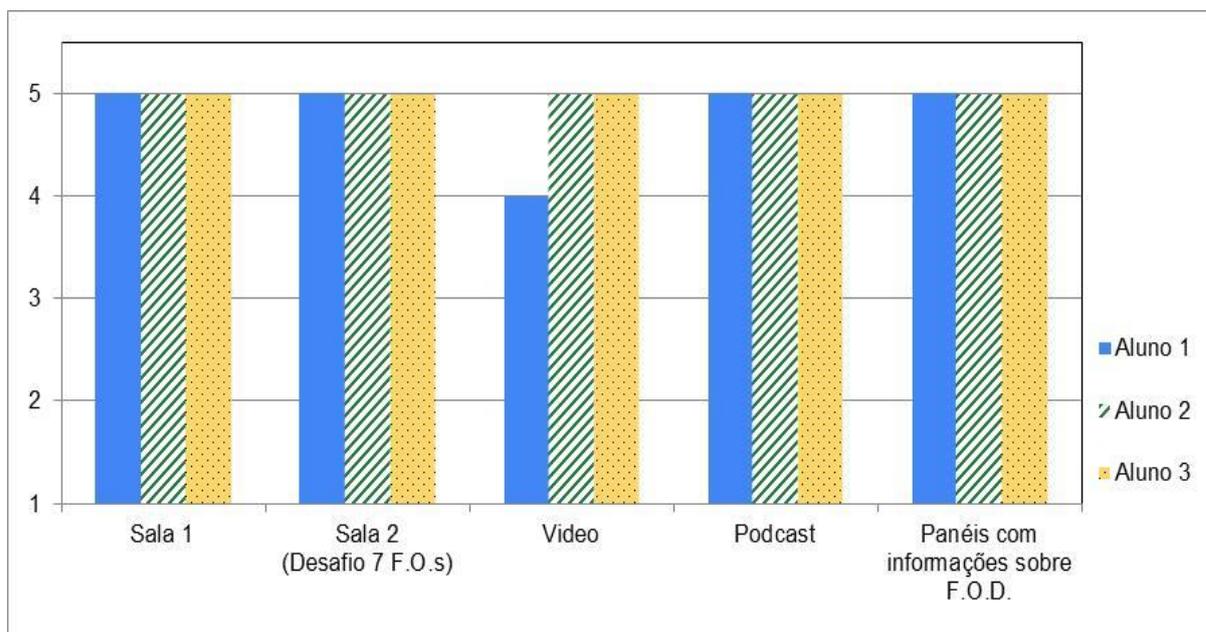
Questão	Aluno 1	Aluno 2	Aluno 3
Locomoção e Visualização: qual o grau de dificuldade você teve em locomover-se e visualizar o ambiente virtual?	3	2	5
Interação com objetos: qual o grau de dificuldade geral você teve para interagir com os objetos do ambiente virtual (portas, movimentação de ferramentas, acionamento de dispositivos, etc.)?	2	3	3
Você acha que o exercício inicial de ambientação ajudou a adquirir habilidades básicas de locomoção e visualização no ambiente virtual?	5	5	4

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2 Avaliação do LVDC FOD

Os alunos avaliaram cada experiência instrucional do laboratório de FOD. A escala de avaliação utilizada foi de 1, para indicar uma experiência ruim e 5 para uma experiência excelente. Conforme Figura 73, exceto para o vídeo em que um dos alunos avaliou no nível 4, todas as demais respostas indicaram uma experiência excelente. Portanto 93,3% das avaliações foram no nível “excelente”. Os alunos também foram questionados se as atividades realizadas desenvolveram as competências associadas ao conteúdo de FOD, e todos indicaram no nível máximo de concordância (5).

Figura 73 - Avaliação das Experiências no LVDC FOD



Fonte: elaborada pelo autor

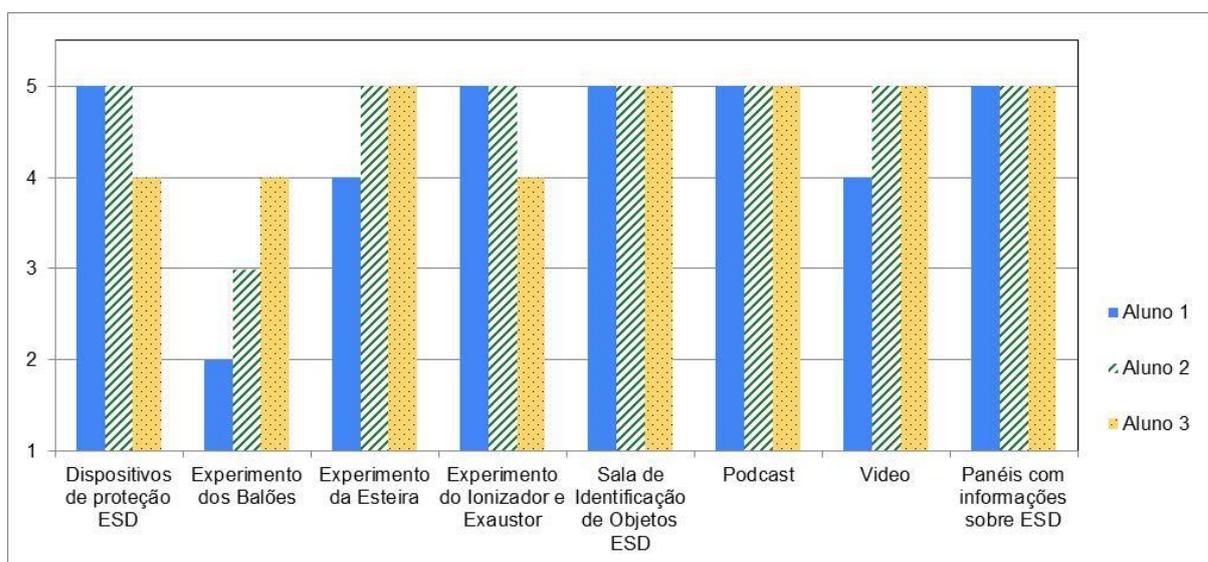
5.3.3 Avaliação do LVDC ESD

No laboratório virtual de ESD as avaliações também foram positivas, porém não tanto quanto nas do laboratório de FOD. Verificou-se que as avaliações em nível “excelente” foram 47%, enquanto as avaliações em nível “4” (bom) ou “5” (excelente) foram de 86,7% dos itens avaliados.

O único experimento que teve avaliações inferiores a “bom” foi o dos balões, o qual foi avaliado no nível “2” (regular) pelo Aluno 1 e no nível “3” (médio) pelo Aluno 2, conforme Figura 74. Este resultado corrobora com as observações feitas durante a realização dos experimentos, quando foi observado que os alunos não conseguiram mover os balões como desejado. A implementação do experimento foi verificada e concluiu-se ser necessário fazer alguns ajustes na programação da interação com os balões.

Quando os alunos foram questionados sobre o desenvolvimento de competências relacionadas ao tema ESD, o Aluno 3 indicou o nível máximo de concordância (nível “5”) e os demais o nível “4”, portanto todos deram respostas favoráveis.

Figura 74 - Avaliação das Experiências no LVDC ESD



Fonte: elaborada pelo autor

5.3.4 Avaliação da LVA

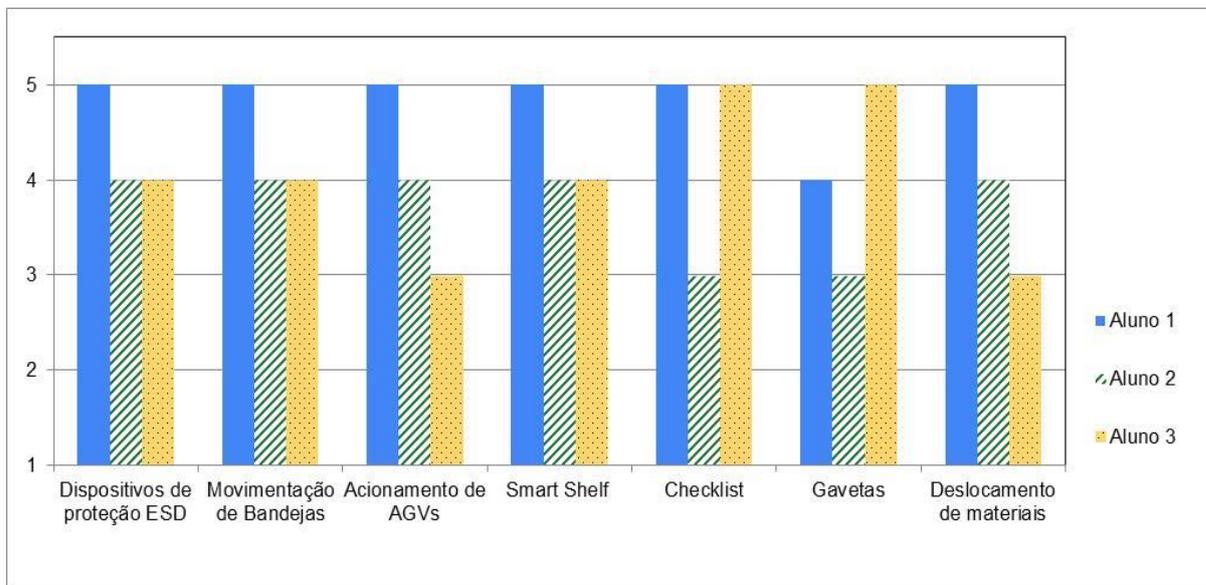
Na fábrica virtual as atividades foram avaliadas em nível “excelente” ou “bom”, representando cerca de 80% dos itens. Dos sete itens avaliados, três deles tiveram a avaliação menos favorável, que correspondeu a cerca de 20%, por dois alunos: acionamento dos AGVs, gavetas e deslocamento de materiais. Com exceção das gavetas, os demais objetos avaliados não foram modelados nos laboratórios, sendo apresentados pela primeira vez aos alunos na FVA. Acredita-se que se os alunos também tivessem tido contato prévio com estes objetos nos laboratórios, a avaliação destes teria sido mais favorável. Mesmo com itens tendo sido avaliados de maneira não tão favorável, os três alunos responderam concordando plenamente que as atividades contribuíram para o desenvolvimento de competências.

As avaliações da FVA também contemplaram as características de tecnologia descritas no item 2.5: realismo, imersão e interatividade. Quanto à imersão, dois alunos responderam que se sentiram imersos o tempo todo e um (o Aluno 2) respondeu que se sentiu imerso em várias ocasiões. Este resultado pode ser explicado pelo fato das visualizações modeladas terem sido relativamente pouco complexas. Conforme explicado por Bowman e McMahan (2007), em visualizações que são menos complexas, mais regulares e mais fáceis de entender, sistemas menos imersivos podem apresentar desempenho tão bom quanto os mais imersivos. Quanto ao realismo, os três alunos concordaram plenamente que a representação da fábrica foi realista. Já quanto à interatividade, dois alunos concordaram que a fábrica virtual era interativa (nível “4” na avaliação), e um deles concordaram plenamente (nível “5”). Conclui-

se que a avaliação dos usuários foi bastante favorável às tecnologias empregadas para o desenvolvimento em realidade virtual.

Conforme pode ser visto na Figura 75, três deles tiveram a avaliação menos favorável, que correspondeu a cerca de 20%, por dois alunos: acionamento dos AGVs, gavetas e deslocamento de materiais. Com exceção das gavetas, os demais objetos avaliados não foram modelados nos laboratórios, sendo apresentados pela primeira vez aos alunos na FVA. Acredita-se que se os alunos também tivessem tido contato prévio com estes objetos nos laboratórios, a avaliação destes teria sido mais favorável. Mesmo com itens tendo sido avaliados de maneira não tão favorável, os três alunos responderam concordando plenamente que as atividades contribuíram para o desenvolvimento de competências.

Figura 75 - Avaliação das Experiências na FVA

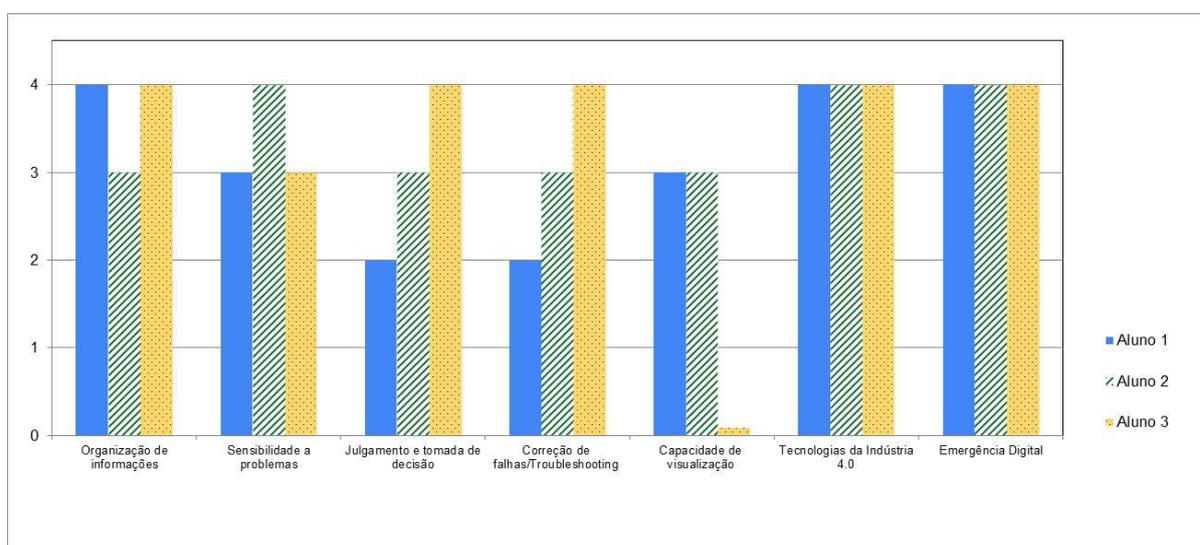


Fonte: elaborada pelo autor

Os alunos também foram questionados em relação às competências previstas para serem desenvolvidas através do método, no formato de autoavaliação. Para cada competência foi feita a seguinte pergunta: “Quanto você acha que o uso do sistema pode ter contribuído para desenvolver a competência no escopo das atividades simuladas de manufatura?” A escala de respostas definidas nesse caso variou entre “1”, significando nenhuma contribuição, “2” pouca contribuição, “3” o suficiente e “4” significando muita contribuição. Como ilustrado na Figura 76, de todas as avaliações feitas, apenas o Aluno 1 considerou que as competências “julgamento e tomada de decisão” e “correção de falhas” tiveram pouca contribuição. As demais avaliações feitas indicaram pelo menos uma contribuição suficiente, exceto a

competência de “capacidade de visualização” que o Aluno 3 respondeu como não sabendo avaliar. A autoavaliação, conforme descrevem Francisco e Moraes (2013), possibilita ao educador dados relevantes sobre o processo de aprendizagem do discente. Já Garcia (2013, p.70) considera que “o sujeito passa a ter mais consciência da importância do seu envolvimento no processo de aprendizagem e passa a ter um olhar mais crítico e reflexivo sobre os diferentes aspectos e momentos de sua atividade cognitiva”.

Figura 76 - Contribuição para o Desenvolvimento das Competências



Fonte: elaborada pelo autor

A última classe de avaliação consistiu em algumas perguntas gerais sobre a percepção dos alunos. A primeira pergunta foi sobre a experiência deles em comparação com treinamentos convencionais. O Aluno 1 e o Aluno 2 responderam que o treinamento com os ambientes virtuais na visão deles era muito melhor do que treinamentos convencionais em sala de aula e o Aluno 3 respondeu que era melhor. Em seguida foi comparada a experiência deles com o treinamento a distância. Os três alunos responderam que na experiência deles o mundo virtual foi muito melhor que o treinamento a distância. Foi então questionado aos alunos sobre em quais aspectos o mundo virtual foi mais bem percebido, e os comentários enfatizaram dois aspectos: o fato de existirem atividades mais estimulantes no mundo virtual para eles executarem e também de eles se sentirem como se estivessem fazendo as atividades no seu local de trabalho.

Ao analisar o treinamento a distância utilizado pelos alunos, percebeu-se que algumas melhorias poderiam ser feitas para que fossem oferecidas atividades mais atrativas aos alunos, o que faria esse primeiro aspecto ser equiparado à experiência dos alunos com os mundos

virtuais. Mesmo assim provavelmente os alunos seguiriam percebendo uma experiência melhor no mundo virtual devido à sensação de imersão que este proporciona.

Os alunos também responderam sobre pontos positivos e os que devem melhorar no sistema de capacitação. O Aluno 1 foi bastante sucinto, mas resumiu bem a sua experiência: “Gostei muito de como tudo foi estruturado. Bem realista e muito parecido com a empresa. A prática facilita muito o aprendizado.

O aluno 2 foi bem mais detalhado na sua resposta, como segue:

“A imersão possibilita a assimilação dos conteúdos, efetivamente. No momento em que se emprega o aprendizado adquirido, se obriga o cérebro a pensar e gravar; e futuramente em situações semelhantes às dos experimentos, a recordação do que já foi empregado voltará à cabeça facilitando a condução correta dos procedimentos. Como pontos de melhoria, cito: questões de movimentação não possuem um primeiro contato tão fácil quanto parece. É preciso realizar a ambientação conforme conduzido no experimento; dificuldade com movimentação de elementos (abrir e fechar gavetas, por exemplo), e nesse sistema utilizado como treinamento efetivamente, melhorar o experimento dos balões pois foi o de maior dificuldade para condução; a tarefa da fábrica virtual não é tão intuitiva quanto parece. Na minha opinião, uma introdução exemplificando o que se deve fazer nela é interessante. Se tanto os treinamentos de FOD e ESD forem executados no mesmo dia, uma introdução geral para tarefas semelhantes pode ser feita. Se forem executados em dias diferentes, aconselho uma introdução em cada dia.”

O Aluno 3 citou aspectos positivos: “detalhamento, semelhança com a realidade. exercícios práticos, independência, não onera tempo de treinamento (a pessoa pode fazer sozinha), caminhar pela empresa enquanto aprende.”. E quanto a aspectos negativos: “facilidade em saber o que fazer (usabilidade), excesso de liberdade (deixa a pessoa desorientada) e localização espacial/movimentação da visão, identificação mais clara dos pequenos objetos de bancada”. Quanto á movimentação, o aluno 2 também comentou: “O único ponto que tive mais dificuldade foi de movimentação”. O aluno 3 ainda acrescentou: “Excelente ideia. vale A pena trabalhar nisso e na comercialização e melhoria da ferramenta”.

O comentário de todos alunos sobre dificuldades na movimentação ajudou a evidenciar que se por um lado a liberdade de movimentação no mundo virtual, conforme propôs Nielsen (2020) é uma característica desejável para mundos virtuais, por outro lado pode trazer algumas dificuldades, em especial a novos usuários. Por esse motivo que o exercício de movimentação do avatar foi introduzido na etapa de preparação. Mesmo assim, cabe avaliar a partir de um maior número de alunos a necessidade de que este exercício de preparação seja ampliado.

Finalmente, quando os alunos foram indagados sobre a experiência geral no uso do sistema de capacitação, o Aluno 1 a classificou como “excelente” e os demais como “muito boa”. Já quando questionados se recomendariam que o sistema fosse adotado na organização, os três concordaram fortemente. A partir dos comentários dos alunos, conclui-se que os principais aspectos positivos que contribuíram para o resultado favorável na avaliação dos mesmos foram aqueles associados às boas práticas aplicadas ao projeto das atividades instrucionais virtuais, conforme Ferramenta de Suporte 5, sendo principalmente as seguintes: o ambiente virtual no qual os alunos desenvolveram as atividades foi suficientemente detalhado e familiar ao que eles conhecem no mundo real (OLKINIORA, 2010; WARBURTON, 2009), as imagens do ambiente virtual tiveram alto grau de realismo (QVIST, 2015) e os recursos foram organizados de forma a propiciar o estímulo às interações dos alunos no ambiente virtual (STOCKLEBEN ET AL., 2017).

6. CONCLUSÕES

O paradigma “Indústria 4.0”, caracterizado pelo uso intenso de sistemas ciberfísicos e a aplicação das TICs num patamar mais avançado, tem reforçado a crescente demanda de pessoal que possua um conjunto amplo de competências para atuação neste contexto. Ao mesmo tempo, o ambiente de negócios requer que estas competências sejam desenvolvidas de forma cada vez mais rápida, contribuindo para a necessária flexibilidade e eficiência das organizações.

Cabe mencionar que esta pesquisa foi concluída durante a pandemia do COVID-19, a qual impactou todas as organizações. Conforme descrevem Fareri et al. (2020), a crise decorrente desta pandemia tem desafiado a comunidade tecnológica mundial a experimentar em larga escala a aplicação da criatividade sob restrições. Algumas destas restrições, como as provenientes das políticas de distanciamento social têm amplificado, como mencionado por Camargo et al. (2020), a necessidade da migração de treinamentos convencionais para treinamentos à distância.

Os avanços tecnológicos que culminaram nas transformações digitais que temos observado com a “Indústria 4.0” também têm ajudado a viabilizar a utilização dos recursos computacionais para o desenvolvimento de competências. Tais recursos computacionais podem ensejar a criação de ambientes virtuais de aprendizado que vão muito além de armazenar documentos. As tecnologias de realidade virtual possuem o potencial de proporcionar ambientes instigantes, interativos e que ajudam na busca pelo conhecimento e a reflexão crítica pelos alunos.

Porém, ao mesmo tempo em que há um grande avanço nas tecnologias de realidade virtual disponíveis, percebeu-se lacunas significativas relacionadas a como aplicar essas tecnologias para a capacitação de pessoal, e, em especial, nas organizações de manufatura mais diretamente impactadas pelas transformações da Indústria 4.0. A aplicação de tecnologias de realidade virtual para a capacitação não se resume a esforços computacionais. Como ficou evidente na pesquisa do referencial teórico e na tentativa de aplicação do método proposto, é fundamental a abordagem do problema sob um viés interdisciplinar, que inclua entre outros aspectos as teorias de ensino e aprendizagem e a disciplina do *design* instrucional.

Ao observar que neste cenário existe uma carência de métodos estruturados para o desenvolvimento das competências para Indústria 4.0 através de tecnologias de realidade

virtual, a pesquisa da presente tese visou contribuir ao fechamento dessa lacuna. A proposta da pesquisa foi criar um método geral que apoiasse as organizações industriais. Foi elaborado um método inédito baseado em *design* instrucional, voltado ao desenvolvimento de competências associadas a operações de manufatura no contexto da Indústria 4.0.

Para levar a cabo o desenvolvimento do método e as suas ferramentas de suporte foi desenvolvido um método de trabalho a partir do método de pesquisa *Design Science Research* (DSR). O método adotado se demonstrou adequado, possibilitando identificar com clareza as etapas a serem cumpridas e as suas entregas.

A partir da conscientização do problema, foram definidos o objetivo geral e os objetivos específicos, os quais foram posteriormente revisados, como previsto no método de pesquisa adotado. Foram apresentadas as justificativas para a presente pesquisa e definido o seu escopo. Em seguida foi conduzida uma pesquisa detalhada do referencial teórico em vários temas relacionados à tese, tais como: teorias de ensino e aprendizagem, avaliação e desenvolvimento de competências, *design* instrucional, LF e tecnologias de realidade virtual. Além disso, experimentos práticos foram conduzidos na aplicação dos conceitos centrais e tecnologias a serem desenvolvidas na tese em áreas correlatas, antes da tentativa de aplicação do método desenvolvido.

A pesquisa do referencial teórico indicou ser adequada para eficácia do método a utilização de tecnologias de realidade virtual, associadas à aplicação de um *design* instrucional pautado pelo aprendizado experiencial. Foram identificadas pesquisas que apresentaram certo grau de similaridade com a classe de problemas da presente tese, porém nenhuma delas contemplou soluções para todas as classes de problemas identificadas no escopo: metodologia, desenvolvimento de competências, Indústria 4.0 e tecnologias de Realidade Virtual.

A partir das pesquisas adicionais sobre o paradigma *Learning Factory* (LF) foi possível concluir que realmente esta é uma abordagem promissora para o desenvolvimento de competências. Mais do que isso, concluiu-se que a FVA (Fábrica Virtual para Aprendizagem), proposto no modelo de estratégia instrucional, trata-se de uma LF virtual, conforme havia sido definido por Enke, Tisch e Metternich (2016) ao conceituar LF no sentido mais amplo. Por outro lado, a pesquisa do referencial teórico indicou que, embora tenha crescido o interesse pelo programa TWI, sua aplicação tem sido restrita a poucas organizações e mesmo que

existam benefícios em digitalizar a sua aplicação através do método, a sua aplicação ficaria restrita ao passo *Job Instruction* sob uma abordagem comportamentalista.

O atingimento dos objetivos gerais e específicos da pesquisa foi verificado a partir dos resultados da tentativa de aplicação do método, pela opinião dos especialistas e julgamento do pesquisador. O objetivo geral da pesquisa foi plenamente alcançado. O método, detalhado no Capítulo 4, mostrou-se ser objetivo e relativamente simples para o suporte à tomada de decisão das organizações. As etapas gerais do método são as seguintes: Preparação, Determinação de Competências a Desenvolver, Modelagem das Operações, Construção Instrucional, Aplicação Inicial e Implementação Completa. Foram desenvolvidas ferramentas de suporte que visam apoiar a adoção do método em uma organização industrial.

Cabe destacar que o painel de especialistas na avaliação do método. A participação deles permitiu identificar pontos de melhoria, muitos dos quais foram incorporados ao método antes de sua tentativa de aplicação. Os especialistas sinalizaram algumas fragilidades e indicaram outras opções a considerar na proposta final do método, o que agregou maior robustez. Alguns pontos de melhoria, que não foram possíveis de ser implementados por restrições de tempo, serão mencionados no item 6.2.

O primeiro objetivo específico da pesquisa era desenvolver uma ferramenta de suporte que permita identificar quais as principais competências necessárias no contexto de aplicação do método e a partir desta identificação avaliar o nível de competência de pessoas em relação a tais competências. Foi concluído que este objetivo foi parcialmente alcançado. Foi desenvolvida a Ferramenta de Suporte 2 (FS2), descrita no item 4.2, a qual permite identificar as competências. Ela prescreve a avaliação do nível de competência, porém pela necessidade de ser genérica para qualquer organização industrial, esta parte necessita ser mais desenvolvida para cada contexto de aplicação. No item 6.3 será abordada uma recomendação para trabalhos futuros relacionados a essa característica do método.

O segundo objetivo específico foi considerado plenamente atingido. Tratava-se de desenvolver um ambiente virtual para ajudar a viabilizar a aplicação e avaliação do método proposto através de experimentos em uma aplicação real de capacitação de pessoal. O desenvolvimento do ambiente virtual é descrito como parte da tentativa de aplicação, mais especificamente nos itens 5.2.3, 5.2.4 e 5.2.5. Foi desenvolvido um ambiente virtual utilizando a plataforma *OpenSim* e o mesmo viabilizou a aplicação e avaliação do método através de experimentos e uma aplicação real com seis alunos, sendo que três executaram

todas as atividades no ambiente virtual e as demais não puderam executar as atividades devido a restrições associadas à pandemia do COVID-19.

Finalmente, o terceiro objetivo específico foi também considerado plenamente atingido. A avaliação da aplicabilidade do método foi descrita nos itens 5.1 e 5.3 e incluiu a experiência dos alunos, a avaliação do painel de especialistas e o julgamento do pesquisador. Os resultados obtidos na tentativa de aplicação demonstraram positivamente que o método planejado e os padrões metodológicos adotados poderiam ser replicados a outros contextos e outras organizações. Por questões de restrições de tempo e orçamentárias, foram escolhidas tecnologias de realidade virtual que atenderam os níveis mínimos definidos pelo método, exceto para uma das competências. Acredita-se que a adoção de tecnologias mais avançadas resulta em resultados ainda superiores, no que concerne às características de realismo e imersão ao ambiente virtual e consequentemente o desempenho dos alunos.

A seguir as conclusões serão complementadas com os tópicos que descrevem as contribuições da pesquisa, suas limitações e algumas recomendações para trabalhos futuros.

6.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

A principal contribuição da pesquisa foi o próprio método proposto. De acordo com o que foi previsto no item 1.6, esta contribuição foi considerada inédita no seu campo de conhecimento. Embora tenham sido identificadas pesquisas contendo objetivos subjacentes, o método proposto, constituído de um detalhamento passo a passo de como implementá-lo numa organização industrial e como aplicar as suas ferramentas de suporte, é inédito em relação ao problema de pesquisa, satisfazendo o critério de ineditismo descrito por Sander, Viacava e Takahashi (2013) para uma tese de doutorado.

As ferramentas de suporte, detalhadas nos apêndices da presente tese, visam apoiar a equipe de implementação do método a tomarem decisões que terão impacto no projeto dos ambientes virtuais. A Ferramenta de Suporte 1 (FS1) é basicamente o modelo de uma apresentação para ser utilizada na etapa de Preparação. Já a FS2 trata-se de um questionário utilizado ainda na etapa de Preparação como apoio à avaliação do contexto de aplicação. A maior parte das perguntas é oriunda do questionário de avaliação de maturidade para Indústria 4.0 do SENAI (2019), o qual foi elaborado em parceria entre o ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica) e o Instituto Fraunhofer da Alemanha, sendo baseado no modelo da ACATECH. Ambas as ferramentas de suporte demonstraram-se ser bastante úteis para direcionar a tentativa de aplicação do método.

A Ferramenta de Suporte 3 (FS3), outra contribuição da pesquisa, é composta por três tabelas a serem aplicadas na segunda etapa do método, a Definição de Competências. O objetivo central destas tabelas é definir quais as competências da Indústria 4.0 devem ser priorizadas de acordo com os objetivos da organização. A lista de competências da Indústria 4.0 em si também é uma contribuição da pesquisa, tendo sido elaborada a partir da pesquisa do referencial teórico. As competências, no total de vinte, foram agrupadas em quatro classes: competências pessoais, competências metodológicas, competências de domínio e competências “digitransacionais”. Esta última classe de competências teve o seu nome proposto pelo pesquisador e inclui competências mais específicas para a Indústria 4.0, entre elas as competências associadas às Tecnologias da Indústria 4.0, a competência de emergência digital, a competência de adaptabilidade e flexibilidade, a competência de inovação e finalmente a competência de análise e visão sistêmica. Ainda como parte da FS3, uma das tabelas, elaboradas tendo como base a versão mais atual das definições da O*NET (2020), demonstrou-se ser útil para estabelecer referências para a definição dos níveis de proficiência desejados para cada competência. Dessa forma, contribuiu para a redução do nível de subjetividade nas avaliações.

As demais três ferramentas de suporte foram definidas para apoiar as etapas de Modelagem e Construção Instrucional. Também compostas por tabelas, visaram oferecer subsídios para que as organizações decidam quais tecnologias adotar, como desenvolver cada ambiente virtual e quais instrumentos de avaliação de competências utilizar. Cabe ressaltar que as características e especificidades de cada contexto de aplicação não podem ser desconsideradas. Desta forma, buscou-se que a aplicação das ferramentas de suporte ocorresse de forma simples e intuitiva, orientando os membros da equipe da organização. No entanto, é preciso ter em mente que o método não é definitivo, e outras análises podem vir a ser feitas para corroborar as recomendações técnicas indicadas pelas tabelas. De qualquer forma as ferramentas foram consideradas adequadas, porém foram identificadas algumas limitações que serão descritas no item 6.2.

Além do método em si e suas ferramentas de suporte, acredita-se que a pesquisa tenha contribuído nos seguintes pontos:

- revisão do referencial teórico sobre a utilização de realidade virtual para o desenvolvimento de competências, e mais especificamente no contexto da Indústria 4.0;

- proposta do conceito de competências “digitransacionais”, conforme apresentado no item Apêndice D e item 4.2;
- modelo de estratégia instrucional inédito: descrito no item 4.4.2.1, propõe a utilização de laboratórios e fábricas virtuais integradas como duas partes do Ciclo de Kolb;
- modelo de exercício para o desenvolvimento de competências de movimentação e visualização no ambiente virtual, implementadas na tentativa de aplicação;
- expansão das áreas de interdisciplinaridade do doutorado do PPGIE, englobando a educação na área de Engenharia de Produção.

6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As limitações identificadas na pesquisa foram classificadas em dois grupos gerais: limitações na condução da pesquisa que podem ter impactado no desenvolvimento do método e limitações identificadas no método desenvolvido. Cada uma delas será detalhada a seguir.

Em relação às limitações na condução do método, o primeiro ponto está relacionado com o potencial viés do pesquisador para algumas definições feitas no desenvolvimento do método, considerando a abrangência prevista para o mesmo (qualquer organização industrial). Uma das questões que pode ter impactado em um potencial viés é naturalmente a experiência do pesquisador, que é limitada a alguns tipos de indústria, como o de metal-mecânica e eletrônica. Para tentar minimizar um possível viés utilizou-se o painel de especialistas para avaliação do método, sendo que cada um deles possuía diferentes experiências profissionais na indústria. Um potencial viés em relação ao pesquisador também pode ter ocorrido na tentativa de aplicação, visto que o pesquisador assumiu alguns papéis da equipe de implementação, como líder e programador. O ideal seria uma organização ter feito a tentativa de aplicação do método sem interferência do pesquisador, porém por restrições de cronograma isso não foi possível.

Ao contrário do que foi identificado pelo método na tentativa de aplicação, não foram feitas atividades de desenvolvimento das lideranças em relação à Indústria 4.0 na etapa de Preparação. Embora essa decisão inicialmente tenha sido tomada em função de restrições da organização, isso pode ter impactado na priorização da utilização do método e poderá impactar na sua não adoção após o término da implementação-piloto. A realização dessas atividades de desenvolvimento poderia ter contribuído para que as lideranças, ao terem um

maior entendimento sobre os conceitos sobre Indústria 4.0, chegassem a conclusões mais corretas quanto aos resultados.

A última limitação associada à condução da pesquisa refere-se à avaliação do método através da tentativa de aplicação. Tratou-se de apenas uma organização e com limitadas atividades definidas a serem desenvolvidas através do método. Não foram escolhidas atividades e competências que requeressem a utilização de tecnologias de realidade virtual mais imersivas. Mesmo assim, o método mostrou-se adequado para o contexto de aplicação escolhido.

Em relação às limitações identificadas no método desenvolvido, foram compilados os seguintes pontos de melhoria:

- quantidade muito grande de tabelas a utilizar: como melhoria poderia ser desenvolvido um aplicativo computacional ou automatização das tabelas;
- FS3 e FS4 com faixas de variabilidade das tabelas muito amplas: como melhoria, uma possibilidade seria desenvolver com especialistas de cada indústria um conjunto de faixas mais específicos;
- FS4 não contém algumas tecnologias, como as de realidade aumentada;
- consideração de aspectos relacionados à computação afetiva, como a customização dos avatares (fora do escopo da pesquisa);
- faltaram algumas considerações quanto à escalabilidade de administração do sistema, como a implementação de banco de dados e controle de acesso por usuários.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

Considerando a emergência do tema de pesquisa, a presente tese tem potencial de contribuir significativamente para trabalhos futuros. Neste tópico busca-se trazer à tona possibilidades complementares para a pesquisa, a partir das observações coletadas pelo pesquisador ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Esta expansão da pesquisa pode ocorrer de duas formas: pelo aumento do escopo ou pelo seu aperfeiçoamento ou aprofundamento. Neste sentido, algumas possibilidades são listadas a seguir:

- pesquisa para elaboração de tabelas específicas por segmentos da indústria;

- aplicação do método em organizações de outras características e através de equipes de implementação diferentes;
- pesquisa quantitativa para validar a relevância das competências propostas na pesquisa para Indústria 4.0: emergência digital e habilidades de setup, além do conceito de competências “digitransacionais”;
- integração do Ambiente Virtual a plataformas de LMS: dependendo do tipo de tecnologia utilizada para o desenvolvimento dos ambientes virtuais, há a disponibilidade de ferramentas de integração, como o Sloodle;
- utilização de dispositivos móveis: inclusão no método de aspectos associados à utilização de tecnologias móveis;
- adequação do artefato proposto visando a utilização de conceitos de gêmeos digitais, a partir do aperfeiçoamento e inclusão de ferramentas de suporte;
- inclusão no escopo do método alguns aspectos relacionados à computação afetiva;
- inclusão no método de ferramentas para o monitoramento das interações dos alunos, visando suportar a gestão das capacitações;
- inclusão de passo para capacitação das lideranças através do ambiente virtual desenvolvido, visando contribuir para que as mesmas tenham um maior entendimento sobre os conceitos relacionados à Indústria 4.0 aplicados ao contexto da organização.

Os resultados positivos obtidos nesta pesquisa abrem a possibilidade para a exploração de novas formas de aprimoramento do método proposto. As possibilidades de trabalhos futuros, assim como limitações apresentadas, indicam pesquisas adicionais a serem desenvolvidas, cujos resultados poderão aperfeiçoar ainda mais as áreas de conhecimento relacionadas à presente tese.

REFERÊNCIAS

- ABELE, E. *et al.* Learning Factories for Research, Education, and Training. **Procedia CIRP**, 2015. v.32, p. 1-6.
- AIRES, R. W. A.; MOREIRA, F. K.; FREIRE, P. S. Indústria 4.0: competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial, In: **Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação (CIKI)**, 7., 2017, Foz do Iguaçu. EGC, UFSC, 2017.
- ALLEN, C.R. **The Instructor, The Man, and The Job**, Philadelphia, London: J.B. Lippincott Company, 1919.
- ALLISON, C., MILLER, A.H.D. **Open virtual worlds for open learning**. St Andrews, UK: Higher Education Academy, 2012.
- ALTURKI, A., GABLE, G. G., BANDARA, W. A Design Science Research Roadmap. **Anais do DESRIST**. Milwaukee: Springer, 2011.
- ANDERSON, L. W. *et al.* **A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives**. New York: Longman, 2001.
- ANTANI, K.R., **A Study of the Effects of Manufacturing Complexity on Product Quality in Mixed-Model Automotive Assembly**, All Dissertations. 1540, 2014.
- ANTUNES, C. **Professor bonzinho igual aluno = aluno difícil: a questão da indisciplina em sala de aula**. Petrópolis: Vozes, 2002.
- ANZANELLO, M.J., FOGLIATTO, F.S., Alocação de modelos de produtos a equipes de trabalhadores baseada em modelos de curvas de aprendizagem, **Revista Produção**, v. 15, n. 2, p. 221-234, Maio/Ago. 2005.
- AUSUBEL, D.P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York, Grune and Stratton. 1963.
- ÁVILA, B., AMARAL, E.M.H., TAROUÇO, L.M.R. Implementação de Laboratórios Virtuais no metaverso OpenSim, **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, V. 11 N° 1, julho, 2013.
- BAENA, F., GUARIN, A., MORA, J., SAUZA, J., RETAT, S. Learning Factory: The Path to Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 73-80, 2017.
- BARTRAM, D. The Great Eight Competencies: A Criterion-Centric Approach to Validation. **Journal of Applied Psychology**, 90, 1185-1203, 2005.
- BEHAR, P.A., RIBEIRO, A.C.R.; SCHNEIDER, D., SILVA, K.K., MACHADO, L.R., LONGHI, M.T., **Competências: conceito, elementos e recursos**. In: Behar, P.A., (Org.). **Competências em Educação a Distância**. Porto Alegre: Penso, 2013.
- BERMÚDEZ, M.B., JUÁREZ, B.F., Competencies to adopt Industry 4.0 for operations management personnel at automotive parts suppliers in Nuevo Leon, **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, Bogota, Colombia, p.736-747, 2017.
- BESSEN, J. **Employers Aren't Just Whining – the “Skills Gap” Is Real**. Harvard Business Review, 2014. Disponível em <https://hbr.org/2014/08/employers-arent-just-whining-the-skills-gap-is-real>. Acesso em 30 out.2018.
- BIDARRA, M.G.A., FESTAS, M.I.F. **Construtivismo(s): Implicações e Interpretações Educativas**, Revista Portuguesa de Pedagogia, Ano 39, nº2, 2005.
- BITFLARE, **Virtual demonstrator ARI CeBIT 2015**. Disponível em: <<https://bitflare.de/virtual-demonstrator-ari-cebit-2015/>>. Acesso em: 26 outubro 2019.

- BJÖRKDAHL, J., **Strategies for Digitalization in Manufacturing Firms**, California Management Review, 62(4):17-36, 2020.
- BLESSING, L.T.M., CHAKRABARTI, A. **DRM, a Design Research Methodology**, Springer-Verlag, London, 2009.
- BLOOM, B.S., *et al.* **Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain**. New York: David McKay Co Inc., 1956.
- BLOOM, B. S. The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. **Educational Researcher**, 13(6), p.4-16, 1984.
- BOCK, A. M. B. Furtado, O., Teixeira, M. L. T. **Psicologias: uma introdução ao estudo de Psicologia**. 13 ed. São Paulo: Saraiva, 2008.
- BORINI, G. **Por que a indústria brasileira está tão atrasada?**, Disponível em: <<http://cio.com.br/noticias/2018/02/21/por-que-a-industria-brasileira-esta-ao-atrasada/>>. Acesso em 12 nov.2018.
- BOWMAN, D.A., MCMAHAN, R.P. Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough? **Computer**. Vol. 40, Ed.: 7, 2007.
- BOYATZIS, R.E. **The Competent Manager: A Model for Effective Performance**. John Wiley & Sons, New York, NY, 1982.
- BRETTEL, M., FRIEDERICHSEN, N., KELLER, M., ROSENBERG, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective, World Academy of Science, Engineering and Technology, **International Journal of Information and Communication Engineering**, Vol:8, No:1, 2014.
- BRYAN, N. A. P. **Educação, processo de trabalho, desenvolvimento econômico: contribuição aos estudos das origens e desenvolvimento da formação profissional no Brasil**. Campinas: Alínea, 2008.
- BSCS, **BSCS 5E Instructional Model**, 2017. Disponível em: <<https://bscs.org/bscs-5e-instructional-model>>. Acesso em 19 dez.2017.
- BURRUS, J., WAY, J. D. **Using O*NET to Develop a Framework of Job Characteristics to Potentially Improve the Predictive Validity of Personality Measures**. Personnel Assessment and Decisions: Vol. 3 : Iss. 1, Article 3. 2017.
- CAMARGO C.P. *et al.* Online learning and COVID-19: a meta-synthesis analysis. **Clinics** vol.75. São Paulo, 2020.
- CAMPION, M.A. *et al.* **Doing competencies well: Best practices in competency modeling**. Personnel Psychology, 64, p. 225-262, 2011.
- CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). **Catálogo de Teses e Dissertações**. Disponível em: <<https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>>. Acesso em: 27.Jan.2021.
- CARVALHO, A.C. **Engajamento e Ambientes Virtuais Imersivos: uma Proposta de Diretrizes**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Ciências da Computação, 2018.
- CARVALHO, A.B. FREIRE, L.C. Desenvolvimento de Habilidades e Competências Através do Ensino Superior, **Anais do IX Colóquio Internacional sobre Gestão Universitária na América do Sul**, 2009.
- CASTIONI, R., **A Indústria 4.0 e os seus impactos sobre a Educação**, Revista Com Censo, Vol.6, Nº4, 2019.

- CHENG, H. *et al.* Manufacturing Ontology Development Based on Industry 4.0 Demonstration Production Line. **Proceedings of Conference: Third International Conference on Trustworthy Systems and their Applications (TSA)**, 2016.
- CHIAVENATO, I. **Recursos Humanos**. 9ª ed., São Paulo Atlas, 2009.
- CHRISTOPOULOU, E., XINO GALOS, S. **Overview and Comparative Analysis of Game Engines for Desktop and Mobile Devices**. International Journal of Serious Games, 2017.
- CIPRESSO, P. *et al.* The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature, **Frontiers in Psychology**, 2018.
- COLOTLA, I. *et al.* **Winning the Industry 4.0 Race: How Ready are Danish Manufacturers?**, Boston Consulting Group, Boston, EUA, 2016.
- COSTA, F.M.P., **Identificar e caracterizar as competências necessárias ao profissional de Engenharia e Gestão Industrial para enfrentar a Indústria 4.0**. 2018. Xxx f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2018.
- DEARDEN, L., REED, H., VAN REENEN, J. The impact of training on productivity and wages: Evidence from British panel data, **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, Vol. 68, Issue 4, 2006.
- DELORS, J. **Educação: um tesouro a descobrir**. 2ed. São Paulo: Cortez, Brasília, DF: MEC/UNESCO, 2003.
- DICK, W., CAREY, L. **The systematic design of instruction**. New York: Harper Collins College Publishers, ed. 4, 1996.
- DIAS, I.S. Competências em Educação: conceito e significado Pedagógico, **Revista Semestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional**, SP. Volume 14, Número 1, p. 73-78, 2010.
- DOMBROWSKI, U.; WAGNER, T.; RIECHEL, C. Concept for a CyberPhysical Assembly System. In: **Proposals on IEEE ISAM 2013 - International Symposium on Assembly and Manufacturing**. Xi'an (China), 2013.
- DOOLEY, R.D. **The Training within Industry Report 1940-1945**. Advances in Developing Human Resources. Volume 3, issue: 2. 2001.
- DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. Dissertação de Mestrado, PPGEPS/UNISINOS, 2013.
- DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- DUFFY, A.H.B, ANDREASEN, M.M. Enhancing the evolution of design science. **International Conference of Engineering & Design**, 1995.
- DUFFY, T. M., CUNNINGHAM, D. J., Constructivism: Implications for the design and delivery of instruction, In D. H. Jonassen, (Ed.) **Handbook of Research for Educational Communications and Technology**, NY: Macmillan Library Reference USA, 1996.
- DUNCAN, I., FABOLA, A., MILLER, A. Serious Games in 2025: Towards Intelligent Learning in Virtual Worlds, **iLRN Proceedings**, 2016.
- DURÃO, L.F.C.S., *et al.* Digital Twin Requirements in the Context of Industry 4.0, Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0, **15th IFIP WG 5.1 International Conference Proceedings**, Springer, p.204-214, 2018.
- DŽUBÁKOVÁ, M., KOPTAK, M. Training Within Industry. **Journal of Research and Education** (4), 47-53. 2015.
- ENKE, J., Tisch, M., Metternich, J. Learning Factory Requirements Analysis – Requirements of Learning Factory Stakeholders on Learning Factories, **Procedia CIRP**, Vol. 55, 2016.

- EROL, S. *et al.* Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production, 6th CLF - **6th CIRP Conference on Learning Factories**, 2016.
- EYRE, J., FREEMAN, C. Immersive Applications of Industrial Digital Twins, **Conference: EuroVR 2018**, 2018.
- FAHRENBACH, F., KAISER, A., SCHNIDER, A. A Competence Perspective on the Occupational Information Network (O*NET), **Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences**, 2019.
- FEITOSA, M.P. **O modelo de competências predominantemente adotado no Brasil tem sido o chamado modelo CHA**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica, Universidade Plesbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.
- FRANCISCO, J.G.G., MORARES, D.A.F. A Auto-avaliação como Ferramenta de Avaliação Formativa no Processo de Ensino e Aprendizagem, **Anais do XI Congresso Nacional de Educação (EDUCERE)**, 2013.
- FERRAZ, A.P.C.M.; BELHOT, R.V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão da Produção**, São Carlos, p.421-431, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v17n2/a15v17n2.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2018.
- FARERI, N. *et al.* Lights and Shadows of COVID-19, Technology and Industry 4.0. **Computers and Society**. Pre-print. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340997063_Lights_and_shadows_of_COVID-19_Technology_and_Industry_40> Acesso em: 30 Dez. 2020.
- FEU, **Towards a Competency-Based System, Further Education Unit**, London, 1984.
- FILIPOWICZ, G. Competence management - The company and personal perspective. Varsóvia, Polônia: Wolters Kluwer, 2016.
- FISHWICK, P. A. An introduction to OpenSimulator and virtual environment agent-based M&S applications. **In Winter simulation conference**, p. 177-183, 2009.
- FITSILIS, P., TSOUTSA, P., GEROGIANNIS, V., Industry 4.0: Required Personnel Competences, **International Scientific Journal "Industry 4.0"**, Issue 3, p. 130-133, 2018.
- FLETCHER, J.D., Comments and reflections on ITS and STEM education and training, **International Journal of STEM Education**, 2018. Disponível em:<<https://stemeducationjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40594-018-0106-7>>. Acesso em 30 Set.2018.
- FRANCISCO, E.R., KUGLER, J.L., LARIEIRA, C.L.C., Líderes da transformação digital, **GV Executivo**, v.16, n.2, 2017.
- FULMORE, Y., Video Games and the Customization of Learning: Interactive Narratives as a Promising Design Framework for Crafting Inclusive Educational Environments, **Proceedings of the Third Conference on GenderIT**, GenderIT 2015, Philadelphia, EUA, 2015.
- GAGNÉ, R. M.; BRIGGS, L. J., WAGER, W.W. **Principles of Instructional Design**. Orlando, Flórida: Holt, Rinehart and Winston, 1988.
- GALLI, G.V., **O diplomata corporativo: competências e liderança**. Século XXI, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 113-127, jan./jun, 2012.
- GARCIA, R.O.M., **Avaliação da Aprendizagem na Educação a Distância na Perspectiva Educacional**. Cruz das Almas/ BA: UFRB, 2013.
- GERHARDT, E.,SILVEIRA, D.T. (org.), **Métodos de Pesquisa**, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

- GETTINGER, M., WHITE, M.A. Evaluating curriculum fit with class ability, **Journal of Educational Psychology** 72(3), p.338-344, 1980.
- GILL, T. G.; HEVNER, A. R. A Fitness-Utility Model for Design Science Research. Service-Oriented Perspectives in Design Science Research - **6th International Conference DESRIST**, Milwaukee: Springer, 2011.
- GIPPS, C.V., **Beyond Testing: Towards a Theory of Educational Assessment**, Falmer Press, 1994.
- GÖKSU, I. *et al.* **Content Analysis of Research Trends in Instructional Design Models: 1999-2014**, **Journal of Learning Design**, Vol. 10 No. 2, 2017.
- GOOGLE TRENDS. **Website Google Trends**. Disponível em <<https://www.google.com/trends>>. Acesso em 15. Nov 2020.
- GÓRSKI, F. Building Virtual Reality Applications for Engineering with Knowledge-Based Approach, **Management and Production Engineering Review**, vol. 8, n.4, p.64-73, 2017.
- GOULDING, J., *et al.* Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype, **Advanced Engineering Informatics**, Volume 26, Issue 1, p. 103-116, January, 2012.
- GRAJEWSKI, D., GÓRSKI F., PANDILOV Z. Virtual Simulation of Machine Tools. In: Trojanowska J., Ciszak O., Machado J., Pavlenko I. (eds) **Advances in Manufacturing II**, 2019.
- GRAJEWSKI, D. *et al.* Immersive and Haptic Educational Simulations of Assembly Workplace Conditions. **Procedia Computer Science** 75, p.359-368, 2015.
- GRAMIGNA, M. R. **Modelo de competências e gestão de talentos**. São Paulo: Makron Books, 2002.
- GREGORY, R.W., MUNTERMANN, J., Theorizing in Design Science Research: Inductive versus Deductive Approaches. **Thirty Second International Conference on Information Systems**, Shanghai 2011.
- GREIS, L. K., REATEGUI, E. Um Simulador Educacional para Disciplina de Física em Mundos Virtuais. **RENTE: Revista Novas Tecnologias na Educação**, 8(2), 2010.
- Grzybowska, K., Łupicka, A., Key competencies for Industry 4.0, **Economics & Management Innovations (ICEMI)**, 1(1) 250-253, 2017.
- GUIMARÃES, M.G., **Proposta de um Método para a Redução do Lead Time de Desenvolvimento da Indústria Calçadista: um Estudo de Caso**, Dissertação de mestrado, UNISINOS, 2009.
- GUSTAFSON, K. L., BRANCH, R. M. What is Instructional Design? In R. A. Reiser & J. A. Dempsey (Eds.), **Trends and issues in instructional design and technology**, Upper Saddle River, New Jersey: Merrill/Prentice Hall, 2002.
- HADLOCK, H., *et al.* From Practice to Entrepreneurship: Rethinking the Learning Factory Approach. **Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference**, 2008.
- HAMID, N.S.S., AZIZ, F.A., AZIZI, A., Virtual reality applications in manufacturing system. **Science and Information Conference**, London, p. 1034-1037, 2014.
- HARRIS, R. *et al.* **Competency-based education: Between a rock and a whirlpool**, McMillan, Melbourne, 1995.
- HARTMANN, E.A., BOVENSCHULTE, M. Skills needs analysis for “industry 4.0” based on roadmaps for smart systems. In: **Using Technology Foresights for Identifying Future Skills Needs. Global Workshop Proceedings**, Moscou, SKOLKOVO Moscow School of Management and International Labour Organization, p. 24–36, 2013.
- HARWARD, D., TAYLOR, K., **The Business of Learning**, Nov-Dec, 2017. Disponível em: <http://www.nxtbook.com/nxtbooks/trainingindustry/tiq_20171112/index.php>. Acesso em 20 ago.2018.

HERPICH, F. *et al.* Learning Principles of Electricity Through Experiencing in Virtual Worlds, **Communications in Computer and Information Science**, June, 2017.

HERPICH, F., GUARESE, R.L.M., TAROUCO, L.M.R. A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications. **Creative Education** 08(09): p. 1433-1451, 2017.

HUITT, W., HUMMEL, J. **Piaget's Theory of Cognitive Development. Educational Psychology Interactive**, Valdosta, GA: Valdosta State University, 2003. Disponível em: <<http://www.edpsycinteractive.org/topics/cognition/piaget.html>>. Acesso em 10 jun 2018.

HUTZINGER, J. **As Raízes do Lean** (2005). Disponível em: <https://www.lean.org.br/comunidade/artigos/pdf/artigo_97.pdf>. Acesso em: 30 abr.2019.

IBGE, **Indicadores IBGE, Contas Nacionais Trimestrais, Indicadores de Volume e Valores Correntes**, Abr.-Jun, 2018a. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/pib-vol-val_201802caderno.pdf>. Acesso em 30 out. 2018.

_____, **PNAD Contínua: taxa de desocupação é de 11,8% no trimestre encerrado em dezembro e a média de 2017 fecha em 12,7%**, 2018b. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/19756-pnad-continua-taxa-de-desocupacao-e-de-11-8-no-trimestre-encerrado-em-dezembro-e-a-media-de-2017-fecha-em-12-7>>. Acesso em 15 out.2018.

IIVARI, J.; VENABLE, J. Action Research and Design Science Research: Seemingly similar but decisively dissimilar. **Proceedings of the 2009 European Conference on Information Systems**, 2009.

ISAMBERT-JAMATI, V. O apelo à noção de competência na revista “L’Orientation Scolaire et Professionnelle” – da sua criação aos dias de hoje. In: ROPÉ, Françoise; LUCIE, Tanguy (Orgs.). **Saberes e competências. O uso de tais noções na escola e na empresa**. Campinas: Papirus. 1997.

ISO/IEC 15288, ISO/IEC 15288:2015, Systems Engineering—System Life Cycle Processes, 2015.

_____. Action Research is Similar to Design Science. **Quality and Quantity**, vol. 41, No.1, 2007.

JAQUES, E., CASON, K., **Human Capability: A Study of Individual Potential and Its Application**. Virginia: Cason Hall, 1994.

JANSSEN, D. *et al.*, Virtual Environments in Higher Education – Immersion as a Key Construct for Learning 4.0. **International Journal of Advanced Corporate Learning**. Vol. 9, N.2, 2016.

JÄRVINEN, P. **Action research as an approach in design science**, Department of Computer Sciences, University of Tampere, 16 p., 2005. Disponível em: <<http://www.cs.uta.fi/reports/dsarja/D-2005-2.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2017.

JONASSEN, D.H., **Computers in the classroom: mindtools for critical thinking**. Columbus, OH: Prentice Hall, 1996.

KAGERMANN, H., Chancen von Industrie 4.0 nutzen, in: T. Bauernhansl; M. ten Hompel; B. Vogel-Heuser (eds.): **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration**, Wiesbaden, 2014.

KAGERMMANN H. *et al.*, **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group**, Forschungsunion, 2013.

KAISER, A., SCHNIDER, A. The Net of Competences: An Innovative Framework for Prior Learning Assessment. Hrsg. Bichler-Ripfel, H. and Kragulj, p. 142-162. Vienna: **IAGF - Institute for Applied Research on Skilled Crafts and Trades**, 2020.

- KAPLAN, A.D. *et al.* The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis. Human Factors. **The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, 2020.
- KARHUMÄKI, M., **Competence Assessment and Competence Development**, Dissertação de mestrado, Turku University of Applied Sciences, 2015.
- KEMP, J.E., MORRISON, G.R., ROSS, S.M. **Designing Effective Instruction: Applications of Instructional Design**. Merrill Publishing Company, 1994.
- KIM, G.J., **Designing Virtual Reality Systems: The Structured Approach**. Springer, 2005.
- KIRSCHNER, P.A., SWELLER, J. CLARK, R.E. Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching, **Educational Psychologist**, 41(2), p. 75–86, 2010.
- KNOBREH, M., ANSARI, F., SEIDENBERG, U. A Knowledge-Based Approach for Linking Workforce Experience and Labor Productivity in Smart Factory Industry 4.0. Building Future Competencies - Challenges and Opportunities for Skilled Crafts and Trades in the Knowledge Economy Publisher: **IAGF - Institute for Applied Research on Skilled Crafts and Trades**, Vienna, Austria, 2020.
- KOLB, D.A. FRY, R. Toward an applied theory of experiential learning. C.Cooper (ed.) **Theories of Group Process**, London: John Wiley, 1975.
- KOLB, D.A. **Experiential learning: Experience as the source of learning and development**, 2ª edição, Pearson Education, New Jersey, 2015.
- KOLB, A., KOLB, D.A. Eight important things to know about The Experiential Learning Cycle, **ACEL National Conference**, 2018.
- KÖPPEN, K. *et al.* Current issues in competence modelling and assessment. **Journal of Psychology**, 216, p.61-73, 2008.
- KRASSMANN, A.L.*et al.* Initial Perception of Virtual World Users: A Study about Impacts of Learning Styles and Digital Experience, **International Educative Research Foundation and Publisher**, 2017.
- KRATHWOHL, D. R. A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. **Theory into Practice**. Vol. 41, No. 4, Autumn. College of Education, The Ohio State University, 2002.
- KREIMEIER, D., F. *et al.* Holistic Learning Factories - A Concept to Train Lean Management, Resource Efficiency as Well as Management and Organization Improvement Skills. **Procedia CIRP** 17: p.84–188, 2014.
- KUTS, V. *et al.* Enabling the Teaching Factory leveraging a Virtual Reality system based on the Digital Twin. **Proceedings of the 15th Annual EuroVR Conference**, 2018.
- LAAKSO-MANNINEN, R., VIITALA, R., **Competence management and human resource development**, Haaga-Helia Research, Helsinki, 2007.
- LAFLEN, A.; SMITH, M. Responding to student writing on-line: Tracking student interactions with instructor feedback in a Learning Management System. **Assessing Writing**, v. 31, p. 39-52, 2017.
- LAGUARDIA, J., PORTELA, M.C., VASCONCELLOS, M.M., Avaliação em ambientes virtuais de aprendizagem. **Educação e Pesquisa**, Vol. 33, p.513-530, 2007.
- LAKATOS, E, MARCONI, M. **Fundamentos da metodologia científica**. S. Paulo: Atlas, 1990.
- LANZA, G. *et al.* Learning Factory on Global Production. **Procedia CIRP** 32, p.120-125, 2015.
- LANZOTTI, A. *et al.* Interactive Tools for Safety 4.0: Virtual Ergonomics and Serious Games in Tower Automotive, **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association**, 2019.

- LE BOTERF, G. **De la compétence. Essai sur un attracteur étrange**, Paris, Les Editions d'organisation, 1994.
- LEME, R. **Aplicação prática de gestão de pessoas por competências, mapeamento, treinamento, seleção, avaliação e mensuração de resultados de treinamento**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- LIAGKOU, V., SALMAS, D., STYLIOS, C. Realizing Virtual Reality Learning Environment for Industry 4.0. **Procedia CIRP** 79, p.712-717, 2018.
- LIMA, R.G., Sobre as Teorias e Modelos de Ensino ou de Instructional Design, **Revista Pesquisa em Fisioterapia**. 2017;7(3). p.435-447, 2017.
- LOGAN, L. Replicating Interactive Graduate Student Writing Workshops in the Virtual Classroom: Best Practices for Meeting Learning Objectives and Controlling Costs. **Journal of Applied Learning Technology**. Vol. 2, Rev.3, p.11-15, 2012.
- LOPIK, K. *et al.* Developing augmented reality capabilities for industry 4.0 smallenterprises: Lessons learnt from a content authoring case study, **Computers in Industry**, 117, 2020.
- LUCAS, B., SPENCER, E., CLAXTON, G. **How to Teach Vocational Education: A Theory of Vocational Pedagogy**, London: City & Guilds Centre for Skills Development, p. 59-84, 2012.
- LUNA, S.V. **Planejamento de pesquisa: uma introdução**. São Paulo: EDUC, 1997.
- LUŚCIŃSKI, S., IVANOV, V. A simulation study of Industry 4.0 factories based on the ontology on flexibility with using FlexSim software. **Management and Production Engineering Review**. Vol. 11, No. 3, p. 74-83, 2020.
- LUZ, M.C., FROM, D.A. **Pedagogia Empresarial e Educação Corporativa: o Pedagogo na Empresa: Para Quê?** Vitrine Prod. Acad., Curitiba, v.4, n.2, p.183-195, jul/dez, 2016.
- MAGALHÃES, R., VENDRAMINI, A. **Os Impactos da Quarta Revolução Industrial**, GVEXECUTIVO, Vol.17, Nº1, Jan/Fev 2018.
- MAKHATINI, T.P., Work integrated learning competencies: Industrial supervisors' perspectives, **Perspectives in Education** 34(3), 2016.
- MANSON, N.J. **Is operations research really research?** Operations Research Society of South Africa, Vol. 22, n.2, 2006.
- MANTOVANI, A.M., MARTINS, C. Práticas de Ensino com o Uso das Tecnologias Digitais Virtuais na Educação Especial: Novos Caminhos para a Inclusão de PNEES, Colabor@ - **Revista Digital da CVA – Ricesu**, Volume 7, Número 25, Fevereiro de 2011.
- MARINHO-ARAÚJO, C.M., RABELO, M.L. Avaliação educacional: a abordagem por competências. **Avaliação** (Campinas). vol.20, n.2, p.443-466, 2015.
- MARKUS, L., COOPER-THOMAS, H., ALLPRESS, K.N. Confounded by Competencies? An Evaluation of the Evolution and Use of Competency Models, **New Zealand Journal of Psychology**, 34(2), 2005.
- MASSABNI, V.G., RAVAGANNI, M.C.A.N. Progressão Continuada: qual construtivismo está em jogo? **Paidéia** (Ribeirão Preto), vol.18, n.41, pp.469-484, 2008.
- MCCLELLAND, D.C., Testing for competence rather than for "intelligence.". **American Psychologist**, 28(1), p.1-14, 1973.
- MCLAGAN, P., Competencies: the next generation. **Training & Development**, 51, p. 40-47, 1997.
- MEISTER, J., **Educação Corporativa**. São Paulo: Pearson Makron Books, 1999.
- MERRILL, M.D. **Instructional Design Theory**. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications, 1994.
- MIRZAEI M., KÁN, P, KAUFMANN, H., EarVR: Using Ear Haptics in Virtual Reality for Deaf and Hard-of-Hearing People. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, 2020.

- MOKER, A. Chief Digital Officer's Characteristics and Digital Transformation Activities: Does Industry Digitalization Play a Role? **ECIS 2020 Research-in-Progress Papers**, 2020.
- MORGADO, L., *et al.* A., Requirements for the use of virtual worlds in corporate training - Perspectives from the post-mortem of a **Corporate e-learning provider approach of Second Life and OpenSimulator**, **ILRN Proceedings**, 2016.
- MOSTAFA, S., DUMRAK, J., SOLTAN, H. A framework for lean manufacturing implementation. **Production & Manufacturing Research**, 1, p.44–64, 2013.
- MOULTRIE, J. Understanding and classifying the role of design demonstrators in scientific exploration. **Technovation**, 43-44, p.1-16, 2015.
- MUELLER, R.R. Tecnologias gerenciais, educação e capital. **Revista Brasileira Educação**. vol.18, n.54, p.739-760, 2013.
- MÜLLER-FROMMEYER, L.C. *et al.* Introducing Competency Models as a Tool for Holistic Competency Development in Learning Factories: Challenges, Example and Future Application. **Procedia Manufacturing** 9, p. 307-314, 2017.
- NBNA, **Bloom's Taxonomy of Learning Domains**, 2018. Disponível em: <<https://www.nbna.org/files/Blooms%20Taxonomy%20of%20Learning.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- NEO (Núcleo de Engenharia Organizacional da UFRGS), **Indústria 4.0 e Digitalização**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/neo/industria40/>>. Consultado em: 15. Out.2018.
- NEUMANN, W. Educational responses to the concern for proficiency, em G. Grant, P. Elbow, T. Ewens, Z. Gamson, W. Koh li, W. Neumann, V. Olesen e D. Riesman, **On Competence: A Critical Analysis of Competence-Based Reforms in Higher Education**, Jossey-Bass, San Francisco, 1979.
- NIAZI, M., WILSON, D., ZOWGHI, D. A model for the implementation of software process improvement: A pilot study. **Proceedings of the Third International Conference On Quality Software**, 2003.
- NIELSEN, J. **10 Usability Heuristics for User Interface Design**, Vol.1, N°1, Nielsen Norman Group, 2020. Disponível em:< <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>>. Acesso em: 30 Nov.2020.
- NORDGREN, W.B. FlexSim simulation environment., 2003. **Proceedings of the 2003 Simulation Conference**. Vol.: 1,2003.
- NUNES, F.B., **Um método de ensino pautado na aprendizagem integrada aos mundos virtuais e princípios do mastery learning**, Tese de doutorado, PPGIE/UFGRS, 2017.
- OLKINUORA, S. **Design of a molecular biology laboratory in Second Life**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Microbiologia. Aalto University, Finlândia, 2012.
- O*NET. **O*NET Resource Center**. Disponível em: <<https://www.onetcenter.org>>. Acesso em: 10 Ago.2020.
- OLIVEIRA, A. P. S. B.; PONTES, J. N. A.; MARQUES, M. A. O uso da Taxonomia de Bloom no Contexto da Avaliação por Competência. **Plejade**, v. 10, n. 20, p. 12-22, jul./dez, 2016.
- OSTERMANN, F., CAVALCANTI, C. J. H. **Teorias de Aprendizagem**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Física. Porto Alegre/RS, 2010. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/uab/informacoes/publicacoes/materiais-de-fisica-paraeducacaobasica/teorias_de_aprendizagem_fisica.pdf>. Acesso em 12 abr. 2018.
- PACHECO, L. *et al.* **Capacitação e desenvolvimento de pessoas**.Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.
- PAGE, R. L., Brief history of flight simulation, in SimTecT, **Proceedings (Sydney: Simulation Australia)**, 11–17, 2000.

PALOMÄKI, E. **Applying 3D virtual worlds to higher education**. University of Technology, Helsinki. 2009.

PETERSEN, K., FELDT, R., MUJTABA, S., MATTSON, M. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. **12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**. 2008.

PIAGET, J. **Biologia e Conhecimento**. Petrópolis: Vozes, 1967.

PITTSHELLIS, R. Multimedia Support for Learning Factories. **Procedia CIRP** 32, p. 36-40, 2015.

PLUMANN, L., *et al.* Strategic Management of Personnel Development in the Industry 4.0, **Proceedings of the 14th International Conference on Intellectual Capital, Knowledge Management & Organizational Learning**, Hong Kong, China, 2017.

PLUNKETT, W.R., ALLEN, G.S., ATTNER, R.F. Management – Meeting and Exceeding Customer Expectations. **Cengage Learning**, Ed. 10, 2012.

PRIFTI *et al.*, A Competency Model for "Industrie 4.0" Employees. *Wirtschaftsinformatik (WI)*, In: St. Gallen, Suíça, 2017.

PULCINELI, M.M. **Do treinamento à educação corporativa: uma trajetória do processo de aprendizagem organizacional no Banco do Brasil S.A.** Dissertação de Mestrado. FGV EBAPE, 2002.

QVIST, P. **Designing virtual laboratories: From pedagogical design to learning analytics**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em em Tecnologia da Informação. Turku University of Applied Sciences, 2015.

RANKIN, J.A., **Handbook on problem-based learning**, New York, NY: Medical Library Association, 1999.

REIGELUTH, C. M. (Ed.). **Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory**, Vol. 2. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1999.

REINERS, T. GREGORY, S., DREHER, H., Educational assessment in virtual world environments, **Proceedings of the ATN Assessment Conference**. 2011

REIS, L.J., CAPITÃO, Z. e-Learning e e-Conteúdos: **Aplicações das teorias tradicionais e modernas de ensino e aprendizagem à organização e estruturação de e-cursos**. V. N. Famicão: Centro Atlântico; 2003.

REIS, G. G.; SILVA, L. M. T.; EBOLI, M. P. A prática reflexiva e suas contribuições para a educação corporativa. **Revista de Gestão (REGE - USP)**, v. 17, n. 4, p. 403-419, 2010.

RENNER, J., *et al.* Research, teaching, and learning with the Piaget model. Norman, OK: **University of Oklahoma Press**, 1976.

RICHARDSON, P. W., WATT, H. M. G. I've decided to become a teacher: influences on career change. **Teaching and Teacher Education**, 21(5), p. 475-489, 2005.

RIVERA-CASTRO, M. *et al.* Estilos de Aprendizagem sob a ótica do Inventário de David Kolb: Um Estudo de Caso com os Alunos de Graduação do Curso de Ciências Contábeis da UFBA, **Anais do XV Congresso Brasileiro de Custos**, Curitiba - PR, 2008.

RIZZI, C. B.; COSTA, A. C. R. O período de desenvolvimento das operações formais na perspectiva piagetiana: aspectos mentais, sociais e estrutura. **Educere**. Umuarama. v. 4, n. 1, p.29-42, 2004.

ROSSI, P.H., LIPSEY, M.W., HENRY, G.T., **Evaluation: A Systematic Approach**, SAGE Publications Inc., 8th Edition, 2019.

- ROSSI FILHO, T.A. *et al.* An OWL-Based Ontology to Represent Interactions of Students in Educational Virtual Worlds, **International Journal for Innovation Education and Research**, Vol. 5, No.7, 2017.
- RUSSO, C. An overview of Every Student Succeeds Act. **School Business Affairs**, 82(3), 2016.
- RYCHEN, D. S., HERSCH, S. L. (Eds), **Key Competencies for a Successful Life and a WellFunctioning Society**. Cambridge, MA: Hogrefe & Huber, 2003.
- SANDER, J.A., VIACAVA, J.C., TAKAHASHI, A.R.W., Dissertações e Teses: Características que contribuem para o avanço do conhecimento, **Anais do IV Encontro de Ensino e Pesquisa em Administração e Contabilidade**, 2013.
- SANDERS, A., et al., Industry 4.0 and leanmanagement–synergy or contradiction?, **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, Springer, p. 341-349, 2017.
- SANGHI, S., **The Handbook of Competency Mapping: Understanding, Designing and Implementing Competency Models in Organizations**, Response Books, Sage Publications, 2007.
- SANTOS, J.A.S., Teorias da Aprendizagem: Comportamentalista, Cognitivista e Humanista, **Revista Científica Sigma**. Instituto de Ensino Superior do Amapá. v.2, n.2. abr./mai./jun. 2006. Macapá: IESAP, 2006.
- SAUNIER, J., *et al.* Designing Adaptable Virtual Reality Learning Environments, **Proceedings of VRIC 2016**, March 23–25, 2016, Laval, France, 2016.
- SAVERY, J. R. Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. In: Walker, A., Leary, H., Hmelo-Silver, C., Ertmer, P.A., (Eds.). **Essential Readings in Problem-Based Learning: Exploring and Extending the Legacy of Howard S. Barrows**, p. 5-16. Indiana: Purdue University Press, 2015.
- SCHLEMMER, E., BACKES, L. **Metaversos: novos espaços para construção do conhecimento**, Rev. Diálogo Educ., Curitiba, v. 8, n. 24, p. 519-532, maio/ago. 2008.
- SCHOTT, F., SEEL, N.M., **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, 2nd Edition, Elsevier, 2015.
- SCHROEDER, H., *et al.* Virtual Reality for the Training of Operators, **APMS 2017**, Part I, IFIP AICT 513, p. 330–337, 2017.
- SCHUSTER, K., *et al.* Preparing for Industry 4.0 – Testing Collaborative Virtual Learning Environments with Students and Professional Trainers. **International Journal of Advanced Corporate Learning (iJAC)** 8(4):14 · December, 2015.
- SCHWANINGER, A. Computer-based training: advantages and considerations. **Aviation Security International**, 17(6), p.18-23, 2011.
- SENAI, **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial**, Senai disponibiliza questionário para empresas que desejam se inserir na Indústria 4.0, Disponível em: <http://www.fiems.com.br/noticias/senai-disponibiliza-questionario-para-empresas-que-desejam-se-inserir-na-industria-4-0/28364>. 2019. Acessado em 14 set.2019.
- SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, **Avaliação de Maturidade: Indústria 4.0** Disponível em: <<https://maturidade.senai40.com.br/#/auth/login>> Acesso em 21 jun.2019.
- SHIPPMANN, J. S. *et al.* **The Practice of Competency Modelling**. Personnel Psychology 53, p. 703-740, 2000.
- SHIROMA, E., **Mudança tecnológica, qualificação e políticas de gestão: A educação da força de trabalho pelo modelo japonês**. Tese de doutorado, FE/Unicamp, 1993.
- SILVA, E.L.; M, MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3^a ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

- SILVA, E., MIRANDA, J., HOUNSELL, M. Diferenças entre Educação e Treinamento em Ambientes Virtuais 3D, **IX Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**, Petrópolis, RJ, 2007.
- SILVA, R.L., OLIVEIRA, J.C., GIRALDI, G.A. **Introduction to augmented reality**. MCTI, Laboratório Nacional de Computação Científica, 2003. Disponível em <http://virtual.lncc.br/~rodrigo/links/AR/node19.html>. 2003. Consultado em 15/06/2020.
- SINOCCHI, M., BERNSTEIN, R. **Implementation of Training Within Industry (TWI) at Autoliv Poland**. New York: Productivity Press, 2016.
- SITTHISAK, O., GILBERT, L., DAVIS, H.C. Transforming a Competency Model to Assessment Items, In: **Proceedings of the Fourth International Conference on Web Information Systems and Technologies**, WEBIST, p. 333-338, 2008.
- SKA, **Demonstrador de Soluções Tecnológicas na Indústria 4.0 é destaque na EXPOMAFE 2019**. Disponível em: <<https://www.ska.com.br/ska/blog/demonstrador-de-solucoes-tecnologicas-na-industria-40-e-destaque-na-expomafe-2019>>. Acesso em: 4. Jul 2019.
- SKAMP, K. PEERS, S. 2012. **Implementation of Science based on the 5E learning model: Insight from teacher feedback on trial school connections**. Southern Cross University, Australia, 2012.
- SKINNER, B.F. **Tecnologia do ensino**. São Paulo: Herder, Ed. Da Universidade São Paulo, 1972.
- SOROOSHIAN, S., PANIGRAHL, S. Impacts of the 4th Industrial Revolution on Industries. **Walailak Journal of Science and Technology**. Vol.17, No.8, 2020.
- SQUELCH, A.P. Virtual reality for mine safety training in South Africa, **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, Volume 101, Issue 4, Jul 2001, p. 209 – 216, 2001.
- STOCKLEBEN, B. et al. Towards a framework for creative on-line collaboration: A research on challenges and context. **Education and Information Technologies**, v. 22, n. 2, p. 575-597, 2017.
- STONE, S.J. **Instructors' Perceptions of Three-Dimensional (3D) Virtual Worlds: Instructional Use, Implementation and Benefits for Adult Learners**. Tese de Doutorado. North Carolina State University. 2009.
- STRICKLAND, A.W., **ADDIE**. University College of Education Science, Math & Technology Education. Idaho State Retrieved June 29, 2006.
- SUPPES, P., FLETCHER, J.D., ZANOTTI, M. Performance models of American Indian students on computer-assisted instruction in elementary mathematics. **Instructional Science**, 4, p. 303-313, 1975.
- TAROUCO, L.M.R., *et al.* **Objetos de aprendizagem : teoria e prática**, Evangraf, Porto Alegre, 2014.
- THE PERFORMANCE JUXTAPOSITION SITE, **Bloom's Taxonomy of Learning Domains**, 2018. Disponível em: < <http://www.nwlink.com/~donclark/hrd/bloom.html> >. Acesso em: 18 nov. 2018.
- THOMPSON, C.W., Next-Generation Virtual Worlds - Architecture, Status, and Directions, **Journal IEEE Internet Computing**, Volume 15, Issue 1, p.60-65, 2011.
- TIBOLA, L.R., TAROUCO, L.M.R., Laboratórios educacionais virtuais como promotores do estado de flow e da aprendizagem ativa. **RENOTE**. V. 16 N° 2,2018.
- TIBOLA, L.R. *et al.* Experience in Teaching Science in Virtual Environment. **International Journal for Innovation Education and Research**. Vol. 7 No. 4, 2019.
- TIETZE, F., LÖDDING, H. Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatfertigung: Eine Grundlage für zielorientierte Verbesserungsprozesse in der Unikatfertigung. **Industrie Management**, p. 62–66, 2014.
- TISCH, M., METTERNICH, J. Potentials and Limits of Learning Factories in Research, Innovation Transfer, Education, and Training. 7th Conference on Learning Factories. **Procedia Manufacturing** 9, p. 89-96, 2017.

- TISCH, M. *et al.* Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels, **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 29:12, p.1355-1375, 2016.
- TORI, R. KIRNER, C., SISCOUTO, R. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. **Livro do Pré-Simpósio VIII Symposium on Virtual Reality**. Belém-PA, 2006.
- TORUNARIGHA, Y.D., WILLIAM, C. Analysis Phase: The Foundation of Instructional Systems Design (ISD). **European Journal of Education Studies**. Vol.7, Issue 9, 2020.
- TRUCCO, M.Y., MORELL, L. **A Proven Model to Re-Engineer Engineering Education in Partnership with Industry**. HP Laboratories, 2012.
- TUFFLEY, D.; ANTONIO, A. Enhancing educational opportunities with computer-mediated assessment feedback. **Future Internet**, v. 7, n. 3, p. 294-306, 2015.
- VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems, Association for Information Systems**, 2004, Disponível em: <<http://desrist.org/design-research-in-information-systems/>>
- VAN AKEN, J.E. Management Research based on the Paradigm of the Design Sciences: the Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, 41:2, Mar., 2004.
- VERGARA, D., RUBIO, M.P., LORENZO, M. On the Design of Virtual Reality Learning Environments in Engineering. **Multimodal Technology Interact**. 1, n. 2: 11, 2017.
- VICENTE, B. *et al.* A review of Management Tools for OpenSimulator. **10th Conference on Videogames Sciences and Arts**, 2019.
- VELDKAMP, A., *et al.* Escape boxes: Bringing escape room experience into the classroom, **British Journal of Educational Technology**, 2020
- VENABLE, J. R. The Role of Theory and Theorising in Design Science Research. **DESRIST**, Vol. Feb. 24-25, p. 1-18, 2006.
- WARBURTON, S. Second Life in higher education: Assessing the potential for and the barriers to deploying virtual worlds in learning and teaching. **British Journal of Educational Technology**, 2009.
- WEF. **World Economic Forum Annual Meeting 2016 – Mastering the Fourth Industrial Revolution**. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_AM16_Report.pdf>. Acesso em: 14 Nov. 2018.
- WEF (World Economic Forum), **Future of Jobs Report**, 2016. Disponível em: <<http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2016/skills-stability/>>. Acesso em 25 Nov 2017.
- WEIGEL, T., MULDER, M., COLLINS, K. The concept of competence in the development of vocational education and training in selected EU member states. **Journal of Vocational Education and Training**, 59, 1, p.51-64, 2007.
- WESTERA, W. Competences in Education: A Confusion of Tongues. **Journal of Curriculum Studies**, vol. 33, no. 1, p. 75–88, 2001.
- WESTERMANN, G., BONNET, D., MACAFFE, A. **Liderando na Era Digital – Como utilizar tecnologia para transformação de seus negócios**. M. Books do Brasil Editora, 2016.
- WILSON, B.G., Reflections on Constructivism and Instructional Design, em Instructional Development Paradigms, Editores Charles R. Dills, A. J. Romiszowski, **Educational Technology**, 1997
- WINTHER, E.; Achtenhagen, F.: Skalen und Stufen kaufmännischer Kompetenz. In: **ZBW** 105, p. 521–556, 2009.
- WITORSKI, R. De la fabrication des competences. In: Wittorski, R. **La compétence au travail**. Paris, n. 135, p. 57-69, 1998.

WOOD, R., The agenda for educational measurement, in NUTTALL, D. (Ed). **Assessing Educational Achievement**, London, Falmer Press, 1986.

WORLD BANK, **World Development Indicators 2015**. World Bank Publications, Report Number 95682, 2015.

XUE, R. BARON, C., ESTEBAN, P. Optimizing product development in industry by alignment of the ISO/IEC 15288 Systems Engineering Standard and the PMBoK Guide. **International Journal of Product Development**, Inderscience, 22 (1), p.65-80, 2017.

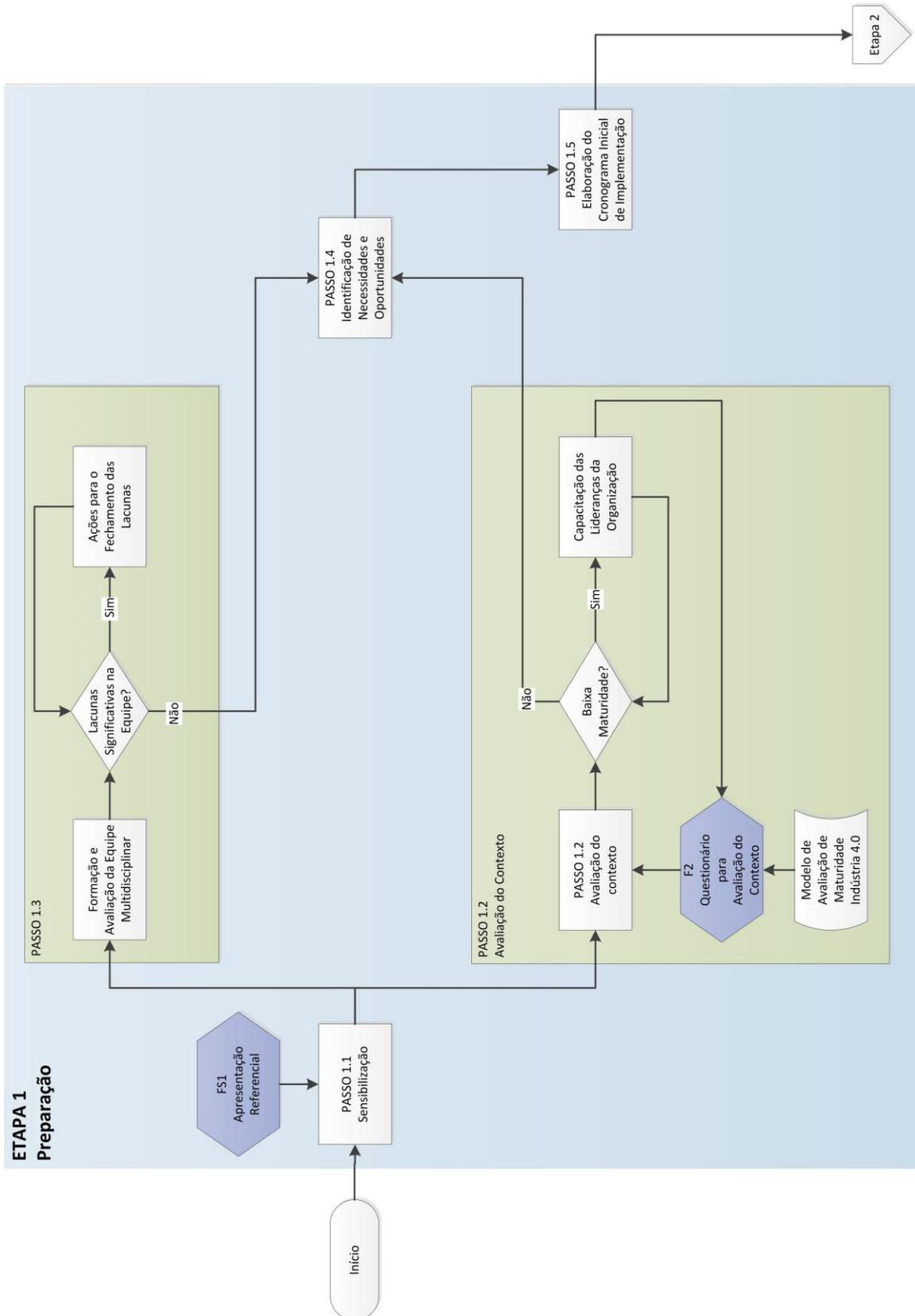
YANAI, A.E., *et al.* O Desenvolvimento da Indústria 4.0: Um Estudo Bibliométrico. **Anais do XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**, 2017.

YIN, R.. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

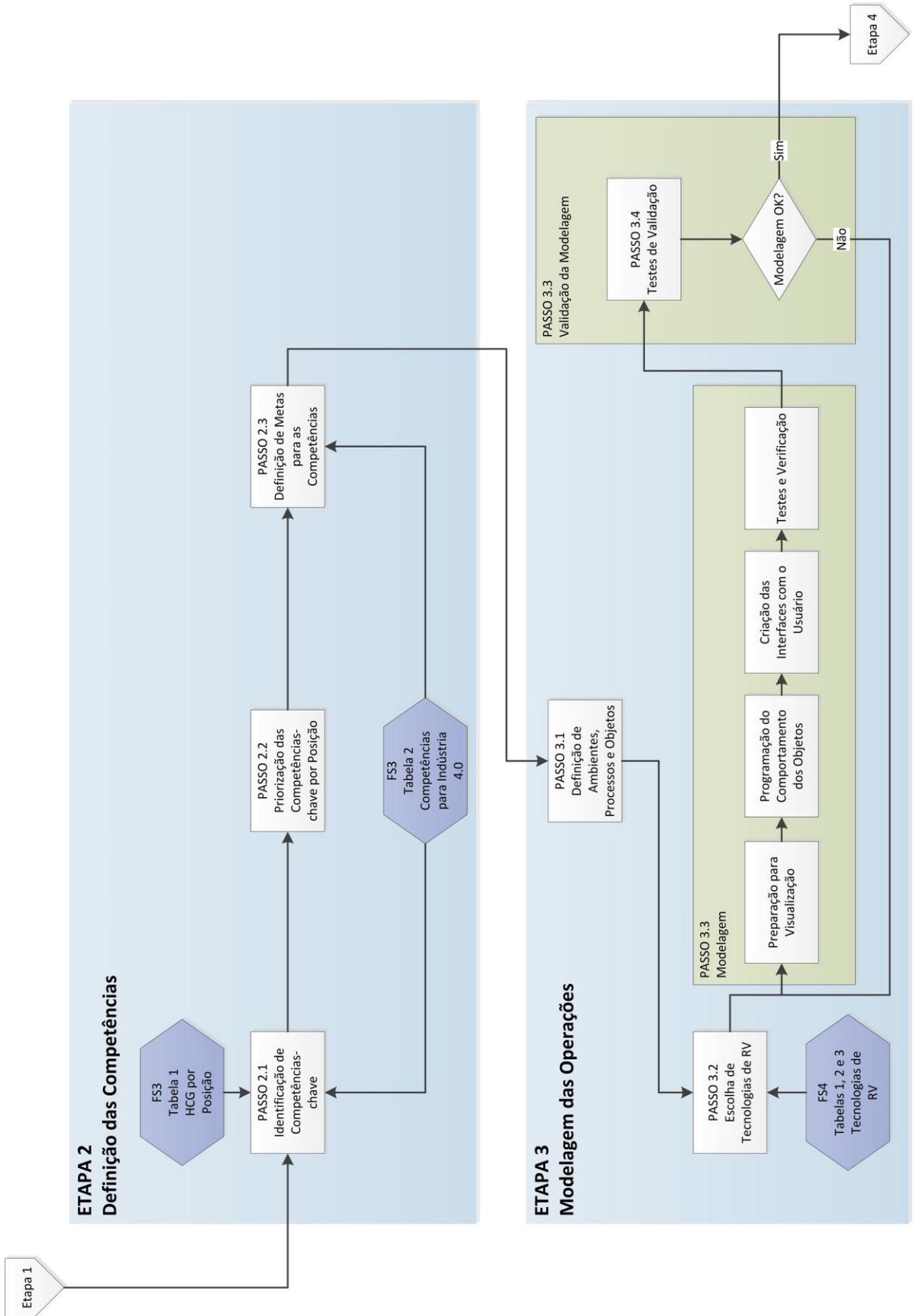
ZHOU, M., BROWN, D., **Educational Learning Theories: 2nd Edition**. Education Open Textbooks, 2015. Disponível em: <<https://oer.galileo.usg.edu/education-textbooks/1>>. Acesso em 15 Mar. 2018.

APÊNDICE A – Fluxograma do Método

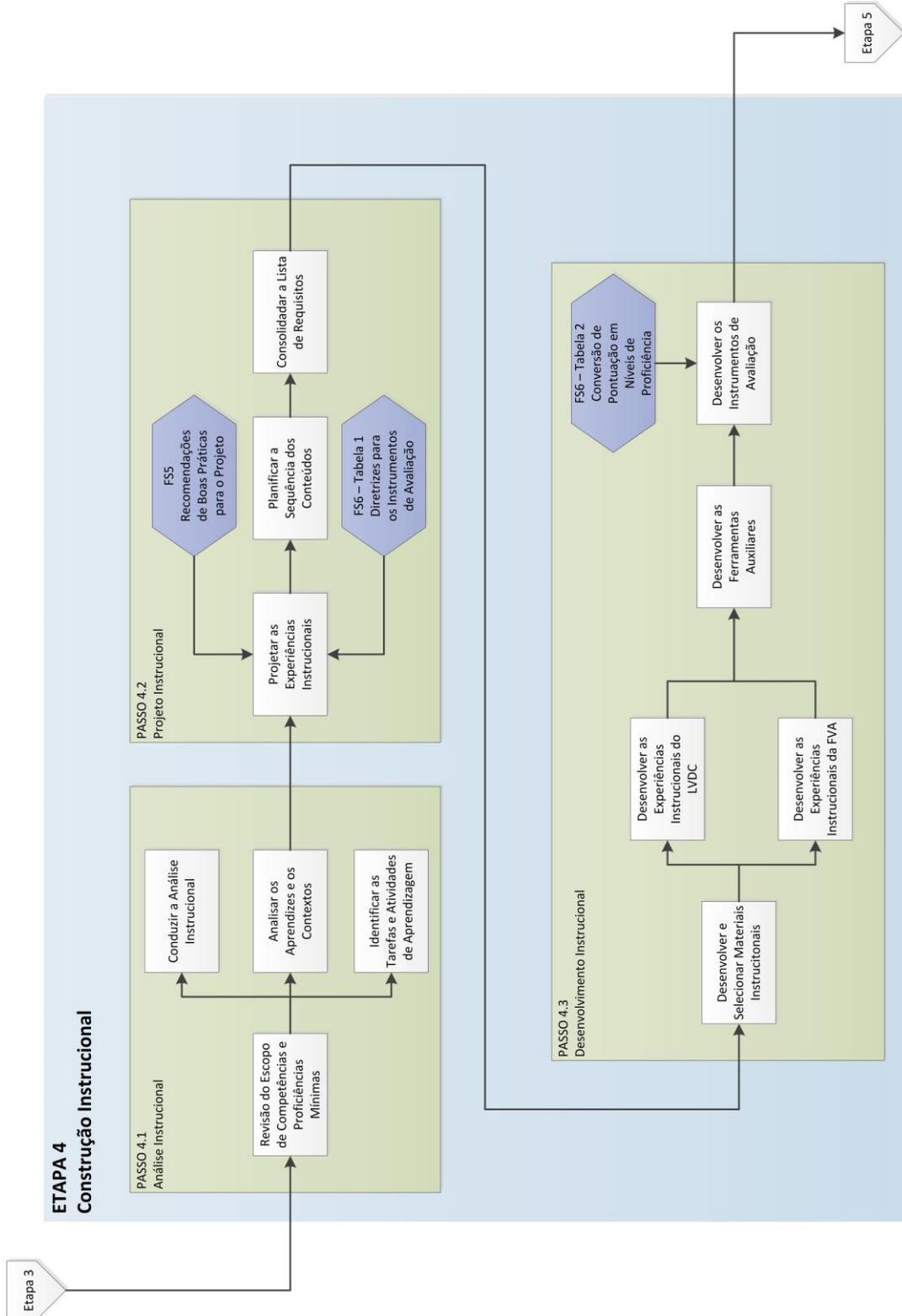
Etapa 1



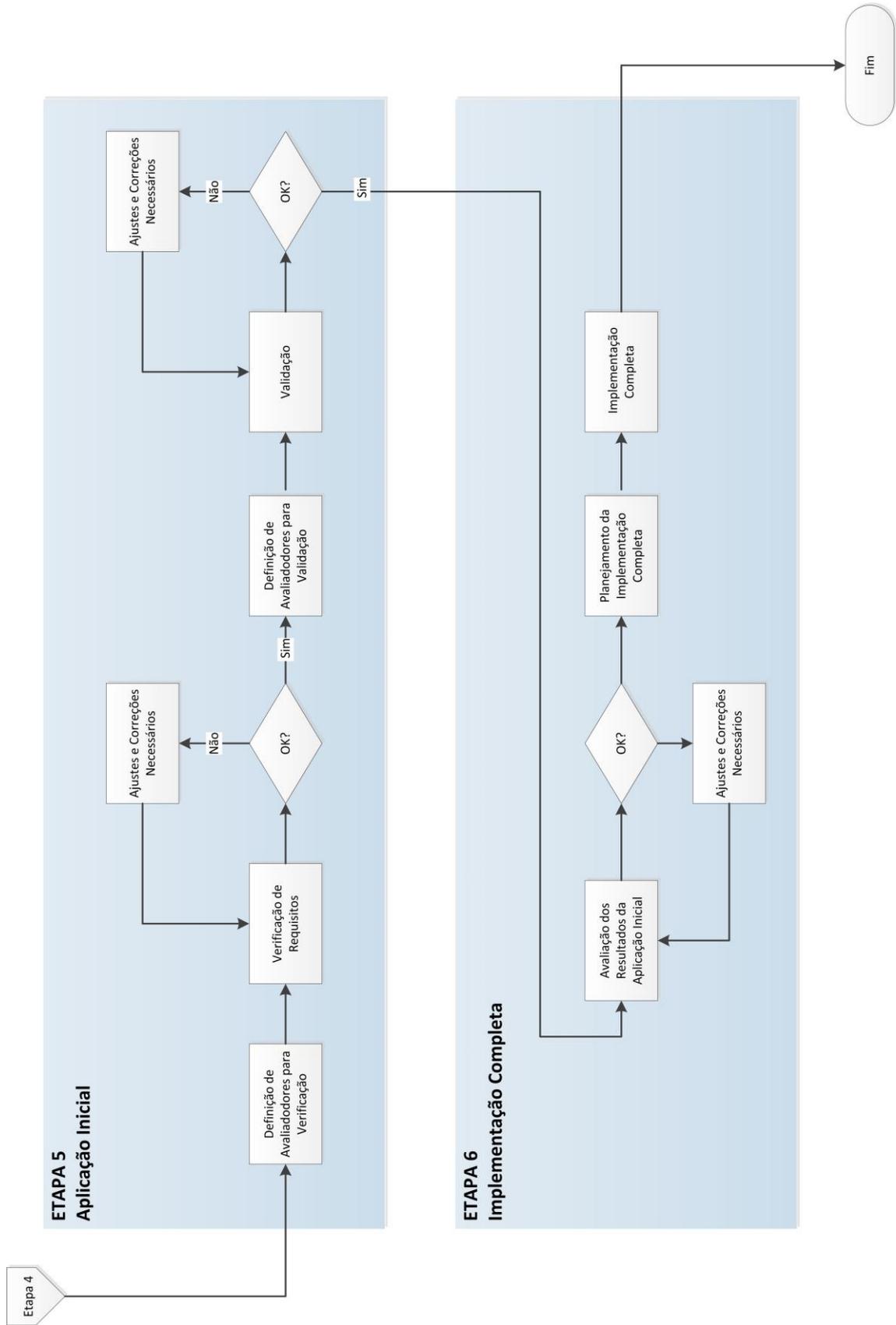
Etapas 2 e 3



Etapa 4



Etapas 5 e 6



APÊNDICE B – Ferramenta de Suporte 1 (FS1) – Apresentação Inicial

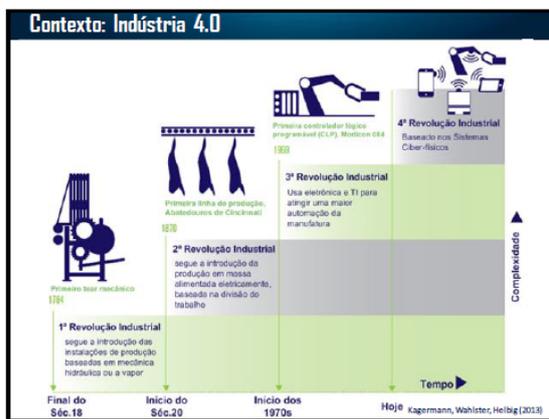
Capacitação para Indústria 4.0 utilizando Realidade Virtual

Proposta de Projeto

<Organização> , <Data>

Tópicos

- Contexto: Indústria 4.0
- Competências para Indústria 4.0
- Tecnologias de Realidade Virtual
- Método de Trabalho
- Próximas Atividades



Contexto: Indústria 4.0

Conceitos Básicos

- **Indústria 4.0:** termo lançado em 2011 na Alemanha; estímulo ao desenvolvimento de uma manufatura de última geração
- Representa a 4ª **Revolução Industrial**, que se caracteriza pelo uso intensivo de recursos avançados de TIC na manufatura
- **Convergência de Tecnologias**
 - Internet mais ubíqua e móvel, sensores menores, mais poderosos e baratos, uso de inteligência artificial
 - Fusão das tecnologias e a interação entre domínios físicos, digitais e biológicos
 - Sistemas e máquinas inteligentes conectados, ajudando a viabilizar um sistema de produção de personalização em massa



Contexto: Indústria 4.0

Conceitos Básicos

- Principal propósito: consolidação das fábricas inteligentes (manufatura avançada) onde se destacam:
 - a disseminação dos sistemas ciberfísicos;
 - a evolução dos sistemas embarcados, permitindo a implementação da Internet das Coisas (IoT) e de Serviços (IoS), fazendo de cada insumo, recurso ou produto um objeto conectado e mapeável em rede.



Competências para a Indústria 4.0

- A quarta revolução industrial está provocando uma mudança de perfil necessário dos funcionários
- Nesse novo contexto, a integração de diversas formas de conhecimento exige profissionais multidisciplinares
- Demanda de conhecimentos e habilidades no uso de ferramentas da chamada “manufatura avançada”, com foco na exploração de big data, internet das coisas, conexão entre máquinas, etc.
- Crescente demanda de competências transversais, como a resolução de problemas complexos

Competências para a Indústria 4.0

Classe	Competência Classe	Descrição
1. Competência Pessoal	1.1 Cidadania	Habilidade para promover ações positivas no contexto social em decorrência própria ou em função da atuação coletiva de outros indivíduos.
	1.2 Organização de Informações	Habilidade para organizar as fontes de informação em sistemas em função de serem comumente acessadas por outros usuários.
	1.3 Exatidão Intelectual e Detalhada	Habilidade para verificar informações antes de passá-las para os outros, para a finalidade de evitar erros que possam causar prejuízos ou danos pessoais.
	1.4 Resiliência Sistemática	Habilidade para superar as dificuldades, as limitações e as adversidades que surgem no processo de aprendizagem, mantendo um alto nível de desempenho.
2. Competência Metodológica	2.1 Resolução de Problemas Complexos	Capacidade de identificação de problemas complexos e criação de estratégias inovadoras para resolvê-los, a partir de informações disponíveis.
	2.2 Abordagem e Tomada de Decisão	Habilidade para analisar e avaliar alternativas e tomar decisões fundamentadas que possam ser aplicadas de forma adequada.
	2.3 Controle de Falhas (Troubleshooting)	Habilidade de identificação das causas das falhas e implementação de medidas que evitem a sua recorrência.
	2.4 Habilidades de Observação e Registro	Capacidade de observação de situações e registro de dados para análise e tomada de decisões, com o uso de ferramentas tecnológicas.
3. Competência de Domínio	3.1 Habilidades de Observação	Habilidade para observar as coisas de forma crítica, buscando compreender as causas e os efeitos das falhas e dos problemas.
	3.2 Capacidade de Tradução	Habilidade para traduzir os dados em linguagem que possa ser compreendida por outros usuários.
	3.3 Habilidades de Fluxo	Capacidade para analisar o fluxo de informações e dados, buscando identificar as causas e os efeitos das falhas e dos problemas.
	3.4 Controle de Qualidade	Capacidade de controle de qualidade e garantia da qualidade dos produtos e serviços, com o uso de ferramentas tecnológicas.
4. Competência Digital	4.1 Exatidão da Informação 4.0	Habilidade para garantir a precisão e a confiabilidade das informações e dados.
	4.2 Segurança Digital	Habilidade de identificação de oportunidades de segurança digital.
	4.3 Adaptabilidade e Flexibilidade	Capacidade de adaptação às mudanças e à evolução das tecnologias e processos.
	4.4 Inovação	Capacidade de desenvolvimento de novas ideias e soluções para resolver problemas e desafios.
4.5 Análise Ciberfísica	Habilidade para analisar os dados e as informações coletadas e gerar insights e soluções para resolver problemas e desafios.	

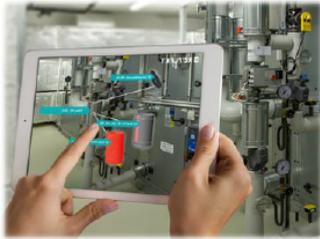
Tecnologias de Realidade Virtual

- Realidade Virtual:** interface avançada do usuário para acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais gerados por computador.



Tecnologias de Realidade Virtual

- Realidade Aumentada:** é o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real.



Realidade Virtual

Tecnologias de Realidade Virtual Aplicadas à Educação

- As tecnologias de realidade virtual têm o potencial de proporcionar ambientes instigantes e facilitadores do aprendizado, os quais ajudam a viabilizar a busca pelo conhecimento e a reflexão crítica, além da aprendizagem sucessiva e independente (Mantovani e Martins, 2011)
- O Mundo Virtual (MV) é caracterizado pelo uso de ambientes de realidade virtual, navegáveis em 3D, onde seus usuários são representados através de personagens, denominados avatares, os quais interagem nesses ambientes
- Plataformas de MV têm o potencial de endereçar os elementos-chave dos princípios construtivistas de “autenticidade cognitiva”: experimentação e engajamento (Stone, 2009)

Realidade Virtual

Paradigma Virtual Learning Factory

- Learning Factory: réplica idealizada de partes da cadeia de valor da indústria, onde ocorre o aprendizado informal, não formal e formal (Tisch et al., 2015)
- Virtual Learning Factory: uma learning factory cuja replicação ocorre através de tecnologias de realidade virtual



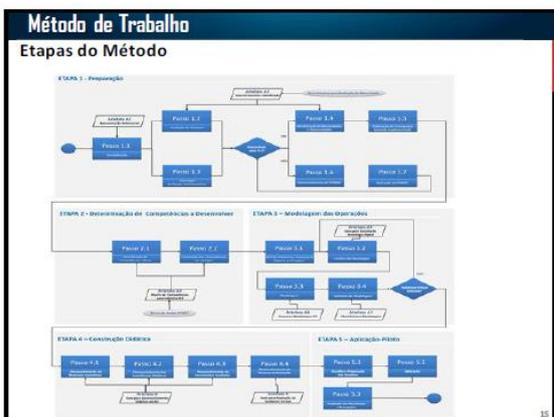
Fábrica virtual para Capacitação (Pittschellis, 2015)

Método de Trabalho

“Método para o Desenvolvimento de Competências para a Indústria 4.0 através de Tecnologias de Realidade Virtual”, de Rossi Filho (2021)



- Desenvolvido durante tese de doutorado na UFRGS entre os anos 2017 e 2020 no PPGIE (Programa de Pós Graduação em Informática na Educação), grupo de Pesquisas A.V.A.T.A.R.
- Estabelece uma sequência de passos para desenvolver as competências para Indústria 4.0 utilizando Realidade Virtual



Próximas Atividades

ETAPA 1 – PREPARAÇÃO

- Avaliação do Contexto
 - Responder Questionários
 - Entrevistas
 - Reuniões
- Formação de Equipe Multidisciplinar

ETAPA 2 – DETERMINAÇÃO DE COMPETÊNCIAS A DESENVOLVER

- Identificação de Competências-chave
 - Matriz de Competências, Banco de Dados O*NET
- Priorização de Competências a Desenvolver



APÊNDICE C – Ferramenta de Suporte 2 (FS2) – Questionário de Avaliação

1ª Parte: Questionário de Avaliação de Maturidade para Indústria 4.0 (fonte: SENAI, 2019)

1. Como você descreve o status da implementação da sua estratégia de indústria 4.0?

- Sem Estratégia definida
- Iniciativas Piloto em planejamento
- Estratégia em desenvolvimento
- Estratégia definida
- Estratégia em implementação
- Estratégia escalonada

2. Indicadores de implantação da sua estratégia de indústria 4.0

- Não há um sistema de indicadores definidos
- Há indicadores para os projetos piloto, que são gerenciados pelo gerente do projeto
- Cada área da empresa avalia seus próprios indicadores
- Os indicadores de implantação são analisados apenas pela área responsável e pelo planejamento estratégico
- Os indicadores são analisados estrategicamente na empresa de forma integrada entre áreas

3. Qual é o nível de envolvimento, apoio e conhecimento das lideranças da empresa (direção executiva e gerentes sênior) com relação ao tema Indústria 4.0?

- Baixo envolvimento. As lideranças não reconhecem as oportunidades e desafios da Indústria 4.0 e não possuem conhecimento sobre questões digitais
- Médio – Baixo. As lideranças reconhecem a importância do tema e estão em busca de maiores informações para a tomada de decisão
- Médio – Alto. As lideranças reconhecem a importância e entendem as oportunidades e desafios para a empresa e estão definindo sua estratégia de transformação digital
- Alto envolvimento das lideranças. Todos conhecem plenamente sobre o tema Indústria 4.0 e reconhecem sua importância, oportunidades e desafios, bem como já possuem uma visão e planejamento estratégico para transformação digital da empresa

4. Quais áreas da empresa receberam investimentos na implantação de indústria 4.0 nos últimos dois anos?

	Sem investimentos	Pouco investimento	Médio investimento	Alto investimento
Pesquisa & Desenvolvimento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produção/Manufatura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Compras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logística	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Sem investimentos	Pouco investimento	Médio investimento	Alto investimento
Vendas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Quais áreas da empresa receberão investimentos na implantação de indústria 4.0 nos próximos 5 anos?

	Sem investimentos	Pouco investimento	Médio investimento	Alto investimento
Pesquisa & Desenvolvimento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Produção/Manufatura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Compras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logística	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vendas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Como os dados apoiam o processo de tomada de decisões estratégicas?

- Utilizam-se dados da empresa, que são coletados manualmente e disponibilizados em planilhas eletrônicas
- Os dados da empresa podem ser acessados diretamente dos sistemas de informação corporativos
- Dados da empresa são capturados em tempo real por sensores, acessados no sistema integrado (única fonte de informação) criando uma nuvem digital que auxilia o processo de tomada de decisão, pelo entendimento sobre o que está ocorrendo na empresa
- Os sistemas analisam os dados em tempo real e avaliam as possíveis causas que algo está ocorrendo na forma de "causa-efeito"
- Por meio de uso de sistemas de inteligência artificial, a nuvem digital gerada é projetada e testada para cenários futuros possíveis, fornecendo previsões ao tomador de decisão
- Os sistemas estão aptos para identificar o que está acontecendo, entender a causa, avaliar cenários possíveis e sugerir quais ações devem ser feitas
- Dados não são coletados/utilizados

7. Quais técnicas e ferramentas Lean são aplicadas na empresa?

- 5S
- Trabalho padronizado
- Mapeamento do Fluxo de Valor
- Troca rápida de ferramenta
- Qualidade na fonte
- Manutenção Produtiva Total (TPM)
- Produção Puxada/Kanban
- PDCA
- Just in time
- Desenvolvimento de Fornecedores
- Nenhuma das opções

Outra opção:

8. Como você avalia a cultura Lean dentro da empresa?

- A empresa ainda não adotou práticas Lean
- São feitas ações/projetos pontuais para implantação dos conceitos Lean
- Os colaboradores entendem a importância do tema e aplicam no seu dia-a-dia

9. Qual é o nível de automação dos equipamentos e sistemas produtivos?

- Nenhum
- Parcialmente para máquinas (ex.: carregamento, descarregamento e operação)
- Totalmente para máquinas
- Parcialmente nas linhas e/ou células de produção
- Totalmente nas linhas e/ou células de produção
- Praticamente toda a fábrica

10. Como os dados apoiam o processo de tomada de decisão do chão de fábrica e de planejamento de processos?

- Utilizam-se dados da empresa, que são coletados manualmente e disponibilizados em planilhas eletrônicas
- Os dados da empresa podem ser acessados diretamente dos sistemas de informação corporativos
- Dados da empresa são capturados em tempo real por sensores, acessados no sistema integrado (única fonte de informação) criando uma nuvem digital que auxilia o processo de tomada de decisão, pelo entendimento sobre o que está ocorrendo na empresa
- Os sistemas analisam os dados em tempo real e avaliam as possíveis causas que algo está ocorrendo na forma de "causa-efeito"
- Por meio de uso de sistemas de inteligência artificial, a nuvem digital gerada é projetada e testada para cenários futuros possíveis, fornecendo previsões ao tomador de decisão
- Os sistemas estão aptos para identificar o que está acontecendo, entender a causa, avaliar cenários possíveis e sugerir quais ações devem ser feitas
- Dados não são coletados/utilizados

11. Qual é o nível de utilização das tecnologias abaixo no chão de fábrica?

	Inexistente	Baixo	Médio	Alto	Não se aplica ao setor da indústria
Sensores	<input type="radio"/>				
RFID	<input type="radio"/>				
Sistemas computacionais e aplicativos para celular	<input type="radio"/>				

	Inexistente	Baixo	Médio	Alto	Não se aplica ao setor da indústria
Sistemas de localização em tempo real (RTLS) - ex.: beacon	<input type="radio"/>				
Big Data Analytics (para gerenciar e analisar dados em tempo real)	<input type="radio"/>				
Computação em nuvem para armazenamento de dados	<input type="radio"/>				
Aplicações mobile, com interface na nuvem	<input type="radio"/>				
Sistemas embarcados - Equipamentos com eletrônica embarcada para realização de funções específicas	<input type="radio"/>				
Comunicação entre máquinas (M2M)	<input type="radio"/>				
Robôs autônomos e colaborativos	<input type="radio"/>				
Impressão 3D	<input type="radio"/>				
Simulação de processos de manufatura (ex.: usinagem, conformação, solda, etc)	<input type="radio"/>				
Simulação de layout em tempo real	<input type="radio"/>				

12. Como você avalia a sua infraestrutura de equipamentos sobre as seguintes funcionalidades

	Menos de 25% dos equipamentos	Entre 26% e 50% dos equipamentos	Entre 51% e 75% dos equipamentos	Mais de 75% dos equipamentos
Máquinas e sistemas podem ser controlados pela rede	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comunicação entre máquinas para otimização de processos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interoperabilidade - Capacidade de um sistema de se comunicar de forma transparente com outro sistema (semelhante ou não). Para um sistema ser considerado interoperável, é muito importante que ele trabalhe com padrões abertos ou ontologias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Quais dados sobre máquinas, processos, produtos, bem como disfunções e suas causas são coletadas durante a produção, e como são coletados?

	Sim, manualmente	Sim, automaticamente	Não
Dados de estoque	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tempo de ciclo de processos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Sim, manualmente	Sim, automaticamente	Não
Taxa de ocupação de equipamentos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Refugo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
% de erros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Taxa de ocupação de recursos humanos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tempos de setup	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
OEE (eficiência)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Como os dados do chão de fábrica são utilizados?

- Manutenção Preditiva
- Otimização de processos e logística
- Gestão da Qualidade
- Controle automático da produção, por meio da utilização de dados em tempo real
- Otimização do uso de recursos (material, energia etc.)
- Não são coletados dados

Outra opção:

15. O sistema é utilizado? Possui interface com o sistema central da empresa?

	Não é utilizado	É utilizado, sem interface com o sistema central	É utilizado, com interface com o sistema central
CAD - Computer-Aided Design	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MDC - Aquisição de Dados de Máquina	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PDA - Aquisição de Dados de Manufatura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PPS - Sistema de Planejamento da Produção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PDM - Gestão de Dados do Produto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SCM - Gestão da Cadeia de Suprimentos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ERP - Gestão de Recursos da Empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PLM - Gestão do Ciclo de Vida do Produto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MES - Gestão de Planejamento vs Execução de processos e integração dos sistemas com o ERP	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. Colaboração Dinâmica na Cadeia de Valor - A empresa tem relacionamento transparente com seus parceiros de negócio (em especial fornecedores e clientes), com troca de informação automatizada, o que lhe confere previsibilidade de demanda e outras tendências, permitindo tomar direcionamentos de forma mais rápida e eficaz

	1	2	3	4	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

17. Quais soluções de segurança cibernética são utilizadas na empresa?

	Não é relevante	Solução planejada	Solução em implantação	Solução funcionando
Segurança de dados da empresa armazenados internamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Segurança de dados na nuvem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Segurança para troca de dados dentro da empresa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Segurança para troca de informações com parceiros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Modelos de Negócio, Produtos e Serviços

18. Como você avalia a utilização de dados para a definição do modelo de negócio de produtos e serviços?

	1	2	3	4	
Insignificante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Crucial - Dados são os principais condutores do modelo de negócio

19. Quais das seguintes funcionalidades estão presentes nos seus produtos?

	Inexistente	Menos de 25% dos produtos do portfólio	Entre 26% e 50% dos produtos do portfólio	Entre 51% e 75% dos produtos do portfólio	Mais de 75% dos produtos do portfólio
Descritiva - Captura dados das condições do produto, ambiente e operações	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diagnóstico - Examina as causas de falhas e redução de desempenho	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Preditiva - Detecta eventos que podem causar falhas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prescritiva - Identifica ações para melhoria do desempenho ou correção de falhas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. Qual é o nível de customização dos produtos?

	1	2	3	4	
Não é possível customizar (produção em massa)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Completamente - O cliente escolhe como quer o produto

21. Qual é o nível de colaboração da sua empresa com parceiros, fornecedores e/ou clientes para o desenvolvimento de produtos e serviços?

	1	2	3	4	
Baixa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Alta

2ª Parte: Questões Adicionais (fonte: autor).

12. Para as tecnologias da pergunta 11: escolha a opção que melhor descreve a sua opinião sobre a adoção delas na sua organização [Sensores inteligentes]
23. O que você acha que a sua organização deveria fazer para intensificar a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 na sua organização
24. Qual o nível de competências você acredita que o pessoal da sua organização possui para atuação no contexto da Indústria 4.0 [Operadores/montadores]
24. Qual o nível de competências você acredita que o pessoal da sua organização possui para atuação no contexto da Indústria 4.0 [Técnicos]
24. Qual o nível de competências você acredita que o pessoal da sua organização possui para atuação no contexto da Indústria 4.0 [Desenvolvedores]
24. Qual o nível de competências você acredita que o pessoal da sua organização possui para atuação no contexto da Indústria 4.0 [Gerência]
24. Qual o nível de competências você acredita que o pessoal da sua organização possui para atuação no contexto da Indústria 4.0 [Diretoria]
25. Escolha as opções que descrevem a sua opinião sobre a utilização de Realidade Virtual para o desenvolvimento de competências no contexto da Indústria 4.0

Obs.: com a adição da pergunta 12 no Questionário, as questões mencionadas na 1ª parte entre 12 e 21 possuem o incremento de 1 numero no questionário original.

Questões Complementares

- QC1. Em quais segmentos da indústria a empresa atua ?
- QC2. Quais os processos produtivos envolvidos?
- QC3. Qual o histórico e motivadores para o desenvolvimento de competências?
- QC4. Quais as características do público-alvo?
- QC5. Qual a taxa de rotatividade dos funcionários, considerando o público-alvo?
- QC6. Em linhas gerais, quais os problemas de aprendizagem conhecidos?
- QC7. Quais os resultados esperados a partir da metodologia?
- QC8. Quais os profissionais poderão ser envolvidos no processo de modelagem e execução?
- QC9. Qual a disponibilidade de tempo dos participantes da organização para a implementação do projeto?
- QC10. Qual a disponibilidade de recursos financeiros para a implementação do projeto?

APÊNDICE D – Ferramenta de Suporte 3 (FS3)

Tabela 1 – HCG por Ocupação

Nome da Ocupação	Código O*NET da Ocupação	HCG
Operadores de máquina de colagem	51-9191.00	1
Operadores e dosadores de máquinas de extrusão e conformação, fibras sintéticas e de vidro	51-6091.00	1
Operadores de máquinas de extrusão, formação, prensagem e compactação	51-9041.00	1
Afiadores de Ferramentas	51-4194.00	1
Assistentes de produção - Eletricistas	47-3013.00	1
Assistentes de produção - instalação, manutenção e reparo	49-9098.00	1
Assistentes de produção - instalação, manutenção e reparo	49-9098.00	1
Fabricantes de Moldes	51-4111.00	1
Mecânico automotivo	49-3023.01	1
Medidores, Pesadores	43-5111.00	1
Montadores	51-2092.00	1
Montadores de Equipamentos Eletromecânicos	51-2023.00	1
Montadores de estrutura, superfícies e sistemas de aeronaves	51-2011.00	1
Montadores de Motores e outras Máquinas	51-2031.00	1
Montadores de Pneus	51-9197.00	1
Opeadores de Separação, Filtragem e Precipitação	51-9012.00	1
Operadores de moagem, lapidação, polimento e polimento de máquinas-ferramenta, metal e plástico	51-4033.00	1
Operadores de Computadores	43-9011.00	1
Operadores de Equipamentos de Tratamento Térmico	51-4191.00	1
Operadores de equipamentos químicos	51-9011.00	1
Operadores de Esteiras	53-7011.00	1
Operadores de Máquina de Calçado	51-6042.00	1
Operadores de Fábrica de Calçado	51-6041.00	2
Operadores de Máquina de Revestimento	51-4193.00	1
Operadores de Máquina de Soldagem	51-4122.00	1
Operadores de Maquinário controlado por Computador	51-4011.00	1
Operadores de máquinas de corte e prensagem	51-4031.00	1
Operadores de Máquinas de Perfuração	51-4032.00	1
Operadores de Máquinas de Serra	51-6031.00	1
Operadores de Metalúrgica	47-2211.00	1
Operadores de Torno	51-4034.00	1
Opradores de Máquinas de Extrusão de Plástico e Metal	51-4021.00	1
Reparadores e instaladores de vidros automotivos	49-3022.00	1
Soldadores	51-4121.07	1
Soldadores, Cortadores	51-4121.06	1
Assistentes de Produção	51-9198.00	1
Inspetores aeronáuticos	53-6051.01	2
Inspetores e testadores	51-9061.00	2
Reparadores automotivos	49-3021.00	2
Reparadores de Manutenção, Geral	49-9071.00	2
Reparadores de Manutenção, Maquinário	49-9043.00	2
Reparadores e instaladores de equipamentos automotivos eletrônicos	49-2096.00	2
Eletricistas	47-2111.00	3
Mecânicos de Maquinário Industrial	49-9041.00	3
Supervisores de Produção	53-1021.00	3
Técnico Automotivo	49-3023.02	3
Técnicos de aviação	49-2091.00	3
Técnicos de bioinformática	43-9111.01	3
Técnicos de Eletrônica	17-3023.01	3
Técnicos de engenharia automotiva	17-3027.01	3
Técnicos de Engenharia Industrial	17-3026.00	3
Técnicos de Engenharia Mecânica	17-3027.00	3
Técnicos de Mecânica e Serviço de Aeronaves	49-3011.00	3
Técnicos de Robótica	17-3024.01	3
Técnicos Eletromecânicos	17-3024.00	3
Técnicos Químicos	19-4031.00	3
Técnicos de Produção	17-3029.09	3
Supervisores de Mecânicos, instaladores e reparadores	49-1011.00	3
Supervisores de Operadores	51-1011.00	3
Analistas de Controle da Qualidade	19-4099.01	4
Analistas de Sistemas Computacionais	15-1121.00	4
Programadores de CNC	51-4012.00	4
Programadores de Computador	15-1131.00	4
Técnicos de Eletricidade	17-3023.03	4
Técnicos de engenharia e operações aeroespaciais	17-3021.00	4
Tecnologistas de Eletricidade	17-3029.02	4
Tecnologistas de Eletrônica	17-3029.04	3
Tecnologistas de Eng. Industrial	17-3029.05	4
Tecnologistas de Engenharia de Manufatura	17-3029.06	4
Tecnologistas de Engenharia Mecânica	17-3029.07	4
Tecnologistas de Mecânica	17-3029.03	4
Arquitetos de redes de computadores	15-1143.00	5
Engenheiros Aeroespaciais	17-2011.00	5
Engenheiros Automotivos	17-2141.02	5
Engenheiros de Manufatura	17-2199.04	5
Engenheiros de Robótica	17-2199.08	5
Engenheiros de Sistemas Computacionais	15-1199.02	5
Engenheiros Eletricistas	17-2071.00	5
Engenheiros Eletrônicos, exceto de Computação	17-2072.00	5
Engenheiros Industriais	17-2112.00	5
Engenheiros Mecânicos	17-2141.00	5
Engenheiros Mecatrônicos	17-2199.05	5
Engenheiros Químicos	17-2041.00	5
Especialistas de suporte a redes de computadores	15-1152.00	5

Tabela 2 - Competências para Indústria 4.0

Classe	Competência	e	Fontes
1. Competências Pessoais	1.1 Criatividade	★	O*NET (2020), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018), Grzybowska e Lupicka (2017), Müller-Frommeyer et al. (2017), Prifti et al. (2017)
	1.2 Organização de Informações		O*NET (2020)
	1.3 Raciocínio Indutivo e Dedutivo		O*NET (2020)
	1.4 Raciocínio Matemático		O*NET (2020)
	1.5 Pensamento Analítico/Crítico	★	O*NET (2020), Filipowicz (2016), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018), Grzybowska e Lupicka (2017), Prifti et al. (2017)
	1.6 Sensibilidade a Problemas		O*NET (2020)
2. Competências Metodológicas	2.1 Resolução de Problemas Complexos	★	O*NET (2020), Costa (2018), Bermúdez e Juárez (2017), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018)
	2.2 Julgamento e Tomada de Decisão	★	O*NET (2020), Costa (2018), Filipowicz (2016), Grzybowska e Lupicka (2017), Kagermann et al. (2016), Müller-Frommeyer et al. (2017), Prifti et al. (2017)
	2.3 Correção de Falhas (<i>Troubleshooting</i>)		O*NET (2020), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018)
3. Competências de Domínio	3.1 Habilidades de Manutenção e Reparo	★	O*NET (2020), Costa (2018), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018)
	3.2 Habilidades de Montagem		O*NET (2020)
	3.3 Habilidades de <i>Setup</i>		Autor (a partir da pesquisa de Sanders et al. 2017)
	3.4 Capacidade de Visualização		O*NET (2020)
	3.5 Habilidades Físicas		O*NET (2020)
	3.6 Controle da Qualidade	★	O*NET (2020), Costa (2018), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018)
4. Competências Digitais	4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	★	Costa (2018), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018)
	4.2 Emergência Digital		Autor (a partir da pesquisa de Björkdahl, 2020)
	4.3 Adaptação e Flexibilidade	★	O*NET (2020), Costa (2018), Bermúdez e Juárez (2017), Filipowicz (2016), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018), Prifti et al. (2017)
	4.4 Inovação	★	O*NET (2020), Costa (2018), Bermúdez e Juárez (2017), Filipowicz (2016), Fitslis, T.soutsa e Gerogiannis (2018), Müller-Frommeyer et al. (2017)
	4.5 Análise/Visão Sistêmica	★	O*NET (2020), Müller-Frommeyer et al. (2017)

Legenda:

★ Competências Prioritárias para Indústria 4.0

Tabela 4 - Metas das Competências

Classe	Competência	Meta de Competência														
		Função Operacional			Função Operacional/Técnica			Função Técnica			Função Técnica/Engenharia			Função Engenharia		
		1.0 2.0 3.0 4.0	5.0 6.0 7.0	8.0	1.0 2.0 3.0 4.0	5.0 6.0 7.0	8.0	1.0 2.0 3.0 4.0	5.0 6.0 7.0	8.0	1.0 2.0 3.0 4.0	5.0 6.0 7.0	8.0	1.0 2.0 3.0 4.0	5.0 6.0 7.0	8.0
1. Competências Pessoais	1.1 Criatividade	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	1.2 Organização de Informações	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	1.3 Raciocínio Indutivo e Dedutivo	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	1.4 Raciocínio Matemático	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	1.5 Pensamento Analítico/Crítico	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	1.6 Sensibilidade a Problemas	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
2. Competências Metodológicas	2.1 Resolução de Problemas Complexos	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	2.2 Julgamento e Tomada de Decisão	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	2.3 Correção de Falhas (<i>Troubleshooting</i>)	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
3. Competências de Domínio	3.1 Habilidades de Manutenção e Reparo	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	3.2 Habilidades de Montagem	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	3.3 Habilidades de <i>Setup</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	3.4 Capacidade de Visualização	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	3.5 Habilidades Físicas	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	3.6 Controle da Qualidade	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
4. Competências Digitacionais	4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	4.2 Emergência Digital	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	4.3 Adaptabilidade e Flexibilidade	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	4.4 Inovação	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	4.5 Análise/Visão Sistêmica	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Tabela 5 - Âncoras para Definição das Metas de Competências

Classe	Competência	Âncoras para as Metas de Competência		
		1ª Âncora	2ª Âncora	3ª Âncora
1. Competências Pessoais	1.1 Criatividade	Nível 1: mudar o layout de um relatório	Nível 4: adaptar um software para aumentar a produtividade	Nível 6: desenvolver um novo software de inteligência artificial para controlar automaticamente os equipamentos
	1.2 Organização de Informações	Nível 1: Colocar as informações em ordem numérica	Nível 2: seguir corretamente os passos de um processo	Nível 6: montar uma ogiva nuclear
	1.3 Raciocínio Indutivo e Dedutivo	Nível 2: perceber que um carro de transporte irá descer a rampa se não for colocada uma trava	Nível 4: parametrizar um novo robô a partir das necessidades da aplicação	Nível 6: projetar uma aeronave utilizando os princípios da aerodinâmica
	1.4 Raciocínio Matemático	Nível 1: determinar o custo de 10 unidades de um produto, sabendo que 2 unidades custam 500 reais	Nível 4: determinar o índice de capacidade de um processo	Nível 6: determinar os cálculos necessários para simular o pouso de uma espaçonave na Lua
	1.5 Pensamento Analítico/Crítico	Nível 2: saber identificar o motivo para uma ferramenta não estar disponível no local de trabalho	Nível 4: avaliar as reclamações de clientes e definir ações de melhoria apropriadas	Nível 6: propor a reorganização do layout de toda a fábrica para resolver um problema de fluxo de materiais
	1.6 Sensibilidade a Problemas	Nível 2: reconhecer que uma lâmpada queimada não liga	Nível 4: reconhecer a existência de riscos mais elevados para falhas	Nível 6: reconhecer a provável causa para uma falha de um produto apenas por poucos sintomas informados
2. Competências Metodológicas	2.1 Resolução de Problemas Complexos	Nível 2: definir as ferramentas necessárias para executar um trabalho	Nível 4: redesenhar o layout da fábrica utilizando novas técnicas de manufatura	Nível 6: desenvolver e implementar um plano de evacuação em caso de acidentes a partir de simulação computacional
	2.2 Julgamento e Tomada de Decisão	Nível 2: definir o intervalo do trabalho para minimizar os efeitos no fluxo de trabalho	Nível 4: avaliar o impacto da substituição de um componente aerodinâmico do produto	Nível 6: avaliar se vale a pena investir num novo robô
	2.3 Correção de Falhas (<i>Troubleshooting</i>)	Nível 2: avaliar o nível de vazamento de uma máquina olhando sob ela	Nível 4: avaliar qual o circuito elétrico está causando a falha do sistema	Nível 6: identificar e resolver um bug num software de alta complexidade
3. Competências de Domínio	3.1 Habilidades de Manutenção e Reparo	Nível 2: apertar um parafuso de acordo com a especificação de torque	Nível 4: substituir manualmente um componente eletrônico SMT	Nível 6: executar um reparo estrutural após um terremoto
	3.2 Habilidades de Montagem	Nível 2: apertar um parafuso de acordo com a especificação de torque	Nível 4: substituir manualmente um componente eletrônico SMT	Nível 6: montar um equipamento aerospacial de alta complexidade
	3.3 Habilidades de Setup	Nível 2: saber identificar cada ferramenta de trabalho e a sua localização correta	Nível 4: saber ajustar os parâmetros de setup inicial de um equipamento eletrônico	Nível 6: fazer o setup de uma refinaria de petróleo
	3.4 Capacidade de Visualização	Nível 2: colocar uma folha numa impressora de forma que seja impresso no lado e posição desejados	Nível 4: interpretar um desenho de AutoCad para a montagem de um produto	Nível 6: revisar o projeto dos produtos visando um maior grau de modularização
	3.5 Habilidades Físicas	Nível 1: caminhar entre as estações de trabalho.	Nível 4: fazer a pintura eletrostática de um produto em uma cabine	Nível 6: escalar um poste de eletricidade para fazer a troca de componentes
	3.6 Controle da Qualidade	Nível 2: preencher um registro de não-conformidade	Nível 4: avaliar o resultado de uma carta de controle estatístico	Nível 6: escrever o procedimento de teste de um novo sistema computacional
4. Competências Digitais/Transacionais	4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	Nível 1: saber mencionar algumas tecnologias da Indústria 4.0 quando indagado	Nível 4: saber operar algumas tecnologias da Indústria 4.0	Nível 6: saber programar ou projetar tecnologias da Indústria 4.0
	4.2 Emergência Digital	Nível 2: identificar na sua área de atuação pelo menos 1 oportunidade de digitalização	Nível 4: saber identificar vantagens e desvantagens da aplicação das principais ferramentas da Indústria 4.0 em um local de trabalho	Nível 6: escolher quais as tecnologias da Indústria 4.0 trarão maiores benefícios para uma organização
	4.3 Adaptabilidade e Flexibilidade	Nível 2: incorporar bem a inclusão de atividades na sua rotina de trabalho	Nível 4: propor melhorias para melhorar a flexibilidade no ambiente de trabalho	Nível 6: implementar melhorias no design de fabricação para redução do tempo de setup entre um produto e outro
	4.4 Inovação	Nível 2: sugerir e implementar uma melhoria simples no seu ambiente de trabalho	Nível 4: modificar o método de trabalho resultando em maior produtividade da célula de produção	Nível 6: projetar um produto totalmente inovador
	4.5 Análise/Visão Sistêmica	Nível 2: avaliar o impacto da redução de 1 membro da equipe	Nível 4: analisar o impacto da introdução de um equipamento na produtividade da fábrica	Nível 6: avaliar a demanda global de um nova tecnologia ainda não existente

Tabela 2 - Níveis de Tecnologia Propiciados pelas Plataformas/ Motores de Jogos

Plataforma/Motor de Jogos	Website	Nível Máximo Possível			Configurações de Hardware Possíveis								Custo de Desenvolvimento	
		Realismo (NREA)	Imersividade (NIME)	Interação (NINT)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	Esforço (h.h)	Investimento
Open Simulator (OpenSim)	http://opensimulator.org/	2	1	2	X	X	X						Medio	Zero
GameMaker Studio2	https://www.yoyogames.com/gamemaker	1	0	2	X	X	X		X	X			Medio	Baixo (<USD 200.)
Turbulenz	http://biz.turbulenz.com/	1	1	2	X	X	X		X	X			Alto	Zero
JmonkeyEngine	https://jmonkeyengine.org/	1	1	2	X	X	X		X	X			Alto	Zero
Ogre3D	https://www.ogre3d.org/	2	1	2	X	X	X		X	X			Alto	Zero
Shiva3D	https://shiva-engine.com/	3	2	2	X	X	X	X	X	X	X		Alto	Baixo a Médio (200-1000, USD)
Unity 3D	https://unity.com/	3	3	3	X	X	X	X	X	X	X		Alto	Medio (400 a 1800 por ano)
Unreal Engine	https://www.unrealengine.com/	3	3	3	X	X	X	X	X	X	X		Alto	Zero para projetos para uso interno
Unigine Sim	https://unigine.com/	3	3	3	X	X	X	X	X	X	X		Alto	Alto (>6.000, valor não informado)

Tabela 3 - Níveis de Tecnologia Propiciados pelas Configurações de *Hardware*

Configurações de Hardware	Nível Máximo Possível			Investimento por Dispositivo (em USD no Brasil, 2020)
	Realismo (NREA)	Imersividade (NIME)	Interação (NINT)	
H1 - PC comum, sem placa gráfica. Monitores comuns.	2	1	2	de 250, a 750,
H2 - PC com placa gráfica. Monitores de médio porte	3	1	2	de 750, a 1.500,
H3 - PC com placa gráfica, Monitores de grande porte ou projetores	3	2	2	de 1.250, a 1.750,
H4 - PC com placa gráfica, HMD Oculus Rift, HTC Vive ou similar, controladores touch	3	3	3	de 2.500, a 5.000,
H5 - Óculos VR com Hardware integrado (ex: Oculus Quest2)	2	3	2	de 200, a 500,
H6 - Celular iOS ou Android de médio desempenho	2	1	1	de 500, a 750,
H7 - Celular iOS ou Android de alto desempenho	3	1	1	de 750, a 1.500,
H8 - Celular iOS ou Android de alto desempenho com Samsung Gear ou similar	3	3	2	de 900, a 2.000,

APÊNDICE F – Ferramenta de Suporte 5 (FS5)

Recomendações de Boas Práticas para o Projeto das Atividades Instrucionais Virtuais

Tópico	Boa Prática	Fonte
Atividades	Quando aplicável, deve ser aproveitado o ambiente virtual para simular atividades que no mundo real são inacessíveis	Warburton (2009)
Atividades	Organização dos recursos visando estimular a interação no ambiente virtual	Stockleben et al. (2017)
Atividades	Devem existir alternativas suficientes para que o aluno explore a relação entre elas	Olkinuora (2012)
Atividades	Oferecer desafios aos alunos	Fulmore (2015)
Atividades	Os desafios devem ser apropriados; nem muito fáceis, nem tão difíceis	Olkinuora (2012)
Atividades	Sem ações fúteis: as ações dos alunos devem afetar algum resultado	Olkinuora (2012)
Avaliação	Realimentação aos alunos através de “quizzes” e testes individuais	Richardson e Watts (2005)
Avaliação	Definir previamente critérios claros de avaliação; possibilitando a auto-avaliação dos alunos em relação às expectativas em relação às tarefas; prover informações de desempenho	Tuffley e Antonio (2015)
Avaliação	Realimentação estruturada e imediata	Laflen e Smith (2017)
Guias de Aprendizagem	Preparação de instruções ou guias no ambiente virtual para apoiar os alunos	Logan (2012), Nielsen (2020)
Guias de Aprendizagem	Deve existir uma meta clara que o aluno deve perseguir	Olkinuora (2012)
Realismo	O ambiente virtual deve ser familiar aos alunos e detalhado	Olkinuora (2012), Warburton (2009)
Realismo	Conexão clara entre a realidade e o modelo simplificado (ambiente virtual)	Olkinuora (2012)
Aleatoriedade	Deve existir certo grau de aleatoriedade para manter a curiosidade dos alunos	Olkinuora (2012)
Visual	O ambiente virtual deve ter um apelo visual (ser atrativo)	Olkinuora (2012), Nielsen (2020)
Visual	Evitar carga cognitiva excessiva	Qvist (2015)
Visual	Imagens com alto grau de realismo fotográfico para estimular os alunos	Qvist (2015)

Coleta de Dados	Devem existir mecanismos de coleta de dados para capturar as ações e comportamentos dos alunos	Qvist (2015)
Coleta de Dados	Deve ser registrado um vídeo das atividades dos alunos para que possa ser revisado posteriormente por eles ou pelos instrutores	Qvist (2015)
Linguagem	O material deve ter uma linguagem apropriada ao público-alvo	Nielsen (2020)
Linguagem	As mensagens de erro devem ser entendidas pelos alunos	Nielsen (2020)
Movimentação do Avatar	Os alunos devem ter liberdade para movimentação no ambiente virtual	Nielsen (2020)
Movimentação do Avatar	A movimentação no ambiente virtual deve ser simples	Nielsen (2020)
Materiais Instrucionais	O ambiente virtual deve permitir a inserção de materiais instrucionais no formato de imagens e vídeos	Tibola et al. (2019)
Controle Visual	Deve ser possível fazer “zoom in” e “zoom out” dos objetos para visualizar os detalhes	Tibola et al. (2019)
Chatbot	Incluir no ambiente virtual um chatbot para responder as perguntas dos alunos	Tibola et al. (2019)
Personalização	Oferecer ao aluno algum tipo de personalização, como mudar o seu avatar	Garcia et al. (2016)

APÊNDICE G – Ferramenta de Suporte 6 (FS6)

Tabela 1 - Diretrizes para os Instrumentos de Avaliação

Competência		Instrumento de Avaliação		
		Tarefas Autênticas	Exercícios no LVA	Quiz
1. Competências Pessoais	1.1 Criatividade	Facultativo	Sim	Não Aplicável
	1.2 Organização de Informações	Sim	Facultativo	Não Aplicável
	1.3 Raciocínio Indutivo e Dedutivo	Sim	Sim	Facultativo
	1.4 Raciocínio Matemático	Sim	Sim	Facultativo
	1.5 Pensamento Analítico/Crítico	Sim	Sim	Facultativo
	1.6 Sensibilidade a Problemas	Sim	Sim	Facultativo
2. Competências Metodológicas	2.1 Resolução de Problemas Complexos	Sim	Sim	Facultativo
	2.2 Julgamento e Tomada de Decisão	Sim	Facultativo	Facultativo
	2.3 Correção de Falhas (<i>Troubleshooting</i>)	Sim	Facultativo	Facultativo
3. Competências de Domínio	3.1 Habilidades de Manutenção e Reparo	Sim	Facultativo	Facultativo
	3.2 Habilidades de Montagem	Sim	Facultativo	Facultativo
	3.3. Habilidades de Setup	Sim	Facultativo	Facultativo
	3.3 Capacidade de Visualização	Sim	Sim	Não Aplicável
	3.5 Controle da Qualidade	Sim	Sim	Sim
4. Competências Digitransacionais	4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	Sim	Facultativo	Facultativo
	4.2 Emergência Digital	Sim	Facultativo	Facultativo
	4.3 Adaptabilidade e Flexibilidade	Sim	Facultativo	Não Aplicável
	4.4 Inovação	Facultativo	Facultativo	Não Aplicável
	4.5 Análise/Visão Sistêmica	Sim	Facultativo	Facultativo

Tabela 2 – Conversão de Pontuação em Nível de Proficiência.

Pontuação	Meta de Proficiência						
	1	2	3	4	5	6	7
[9-10]	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
[8-8,9]	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
[7-7,9]	0,75	1,75	2,75	3,75	4,75	5,75	6,75
[6-6,9]	0,75	1,75	2,75	3,75	4,75	5,75	6,75
[5-5,9]	0,75	1,75	2,75	3,75	4,75	5,75	6,75
[4-4,9]	0,50	1,50	2,50	3,50	4,50	5,50	6,50
[3-3,9]	0,25	1,25	2,25	3,25	4,25	5,25	6,25
[2-2,9]	0,25	1,25	2,25	3,25	4,25	5,25	6,25
[1-1,9]	0,25	1,25	2,25	3,25	4,25	5,25	6,25
[0-0,9]	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00

APÊNDICE H – Lista de Objetos e *Scripts* da Tentativa de Aplicação

Local	Objeto	Quantidade de objetos Primitivos	Etapa do Design Instrucional	Função	Canais de Comunicação	Script	Quantidade de Scripts	
Mundo Virtual	Cenário Externo	56	-	Ambientação	-	-	-	
Prédio de Preparação	Prédio	30	Preparação	Ambientação	-	-	-	
Prédio de Preparação	Circuito	12	Preparação	Ambientação e Sensor (avisa se o avatar tocou a faixa amarela)	-	-	-	
Prédio de Preparação	Marco de Início	1	Preparação	Reset Início do Circuito	0	Início_E1	1	
Prédio de Preparação	Marco de Final	1	Preparação	Sucesso/Fim do Circuito	0	Fim_E1	1	
Subtotal Prédio de Preparação (Objetos)		44					Subtotal Prédio de Preparação (Scripts)	2
LVDC Geral	Prédio do LVDC	230	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC Hall de Entrada	Totem de Informações Gerais	1	LVDC	Informações Gerais sobre o LVDC	-	-	0	
LVDC Hall de Entrada	Botão Porta Principal	1	LVDC	Ambientação/Envia mensagem de abrir porta se clicado	0, 420	Chave_Porta_Principal	1	
LVDC Hall de Entrada	Porta Principal	1	LVDC	Ambientação/Abriu Porta	420, 425	Porta_Principal	1	
LVDC Hall de Entrada	Porta Interna	1	LVDC	Ambientação/Abriu Porta	420, 425	Porta_Interna	1	
LVDC Hall de Entrada	Botão Porta interna	1	LVDC	Ambientação/Abriu Porta	425	Chave_Porta_Interna	1	
LVDC Hall de Entrada	Ventilador de teto	8	LVDC	Ambientação	-	-	0	
Subtotal LVDC Geral (Objetos)		243					Subtotal LVDC Geral (Scripts)	4
LVDC FOD	Totem de Identificação do Lab	2	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD	Botão Porta Externa e Interna FOD	2	LVDC	Ambientação/Envia mensagem de abrir porta se clicado	421	Chave_Porta_Interna_FOD	2	
LVDC FOD	Porta Interna FOD	1	LVDC	Ambientação/Abriu Porta	421	Porta_Interna_FOD	1	
LVDC FOD Hall de Entrada	Hall de entrada FOD	7	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Hall de Entrada	Totem com informações teóricas	11	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Hall de Entrada	TV	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Hall de Entrada	Tela da TV	1	LVDC	Mostra vídeo do youtube ao clicar	-	-	0	
LVDC FOD Hall de Entrada	Caixa podcast	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Hall de Entrada	Podcasts	1	LVDC	Mostra vídeo do youtube ao clicar	-	-	0	
LVDC FOD Sala 1	Botão Porta Externa e Interna Sala1	2	LVDC	Envia mensagem para abrir porta	422	Chave_Porta_Interna_Sala1	2	
LVDC FOD Sala 1	Porta Interna Sala1	1	LVDC	Ambientação/Abriu Porta	422	Porta_Interna_Sala1	1	
LVDC FOD Sala 1	Gaveta LVDC FOD	9	LVDC	Abriu ou fechar Gaveta, Mostrar e Ocultar Objetos, Enviar msg de status	0, 804	GavetaLab	1	
LVDC FOD Sala 1	Ferramenta 1 até 6	6	LVDC	Deslocar ferramenta entre gaveta e bancada. Apresentar nome e código da ferramenta ao clicar nela, status de posição	-13572498, 0	Ferramenta1 a Ferramenta6	6	
LVDC FOD Sala 1	Botão 1 a 8 do Checklist Virtual	8	LVDC	Alternar entre a cor verde e vermelha, comunicar status em canal	66101 a 661108	Botão1 a 8	8	
LVDC FOD Sala 1	Placa de Status de Setup	1	LVDC	Alternar entre a cor verde e vermelha se todos os botões estiverem verdes e for clicado sobre ele	-	PlacaStatus_FOD	1	
LVDC FOD Sala 1	Bancada	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 1	Totem com instruções	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 1	Monitor	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 1	Tela Checklist	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 1	Cadeira	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 1	Armário1 e Armário 2	2	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 1	Botão Porta Externa Sala2	1	LVDC	Ambientação/Envia mensagem de abrir porta se clicado	423	Chave_Porta_Interna_Sala2	1	
LVDC FOD Sala 1	Porta Interna Sala1	1	LVDC	Ambientação/Abriu Porta	423	Porta_Interna_Sala1	1	
LVDC FOD Sala 2	FOD1 a FOD 7	7	LVDC	Deslocar FOD para armário de FODs se usuário clicar sobre o objeto e acertar a classificação do FOD, comunicar status de posição	5572498, 63101 a 631	FOD1 a FOD 7	7	
LVDC FOD Sala 2	Botão ChecaFO	1	LVDC	Verifica se todos FODs foram deslocados para estante de FO, em caso positivo abre a porta e muda cor para verde	-13572498, 423	ChecaFO	1	
LVDC FOD Sala 2	Design de interiores	120	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Estante FOS	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Placa Estante FOS	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Totem com instruções	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Bandeja ESD	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Bancada	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Cadeira	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Parede dntificadas	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Bandeja de materiais	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Sacos ESD	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Carrinho com bandejas	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC FOD Sala 2	Armário	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
Subtotal LVDC FOD (Objetos)		292					Subtotal LVDC FOD (Scripts)	32
LVDC ESD	Design de interiores	20	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD	Botão Porta Interna e Externa LVDC ESD	2	LVDC	Ambientação/Envia mensagem de abrir porta se clicado, Envia mensagem de boas-vindas, registra a presença do avatar e retira dispositivos de proteção ESD caso estejam vestidos no avatar	0, 432, 1401, 1402, 1403	Chave_Porta_Principal	1	
LVDC ESD	Porta LVDC ESD	1	LVDC	Ambientação/Abriu Porta	432	Porta_Principal	1	
LVDC ESD Hall de entrada	Totem com informações teóricas	10	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Hall de entrada	TV	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Hall de entrada	Tela da TV	1	LVDC	Mostra vídeo do youtube ao clicar	-	-	0	
LVDC ESD Hall de entrada	Caixa podcast	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Hall de entrada	Podcast	1	LVDC	Mostra vídeo do youtube ao clicar	-	-	0	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Totem de Instruções	1	LVDC	Instruções	-	-	0	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Sensor das Calcanheiras	1	LVDC	Verifica se o avatar está na posição correta de medição	560	Sensor_Calcanheira	1	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Sensor do Painel	1	LVDC	Quando tocado, envia informação para validação do teste de pulseira se clicado por mais de 5 segundos	556	Sensor_Painel	1	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Painel da Estação	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Monitor da Estação	1	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Plugue pulseira ESD	1	LVDC	Indica que pulseira foi conectada, caso existente	557	Conecta_Pulseira	1	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Botão de seleção do painel	1	LVDC	Quando clicado, muda a posição de seleção entre teste de pulseira e calcanheira e manda mensagem para o canal indicando o status	551	Selecao_Painel	1	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Botão 1 de Operação do Monitor	1	LVDC	Solicita o código do aluno ao ser clicado e iniciar rotina de verificação, mostra botao 2	561	Botao1_monitor	1	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Botão 2 de Operação do Monitor	1	LVDC	Verifica se condições do teste foram atendidas ao clicar no botão, se forem, mostra tela "OK", se não, mostrar tela "não OK", habilita status das calcanheiras e pulseira	558	Botao2_monitor	1	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Armazenagem de pulseira	1	LVDC	Envia mensagem para mostrar ou esconder a pulseira do avatar se for clicado no local de armazenagem	552	Arm_pulseira	1	
LVDC ESD Estação de Prevenção	Armazenagem da calcanheira esquerda e direita	1	LVDC	Envia mensagem para mostrar ou esconder a calcanheira do avatar se for clicado no local de armazenagem	554, 555	Arm_calcesq_Arm_calcdireita	1	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Sala Experimento dos Balões	8	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Balao 1, 2 e 3	3	LVDC	Movimenta os balões aleatoriamente, dentro de coordenadas pré-definidas. Ao tocar na parede de lá, retira elétrons, envia mensagem com coordenadas	7701 a 7709	Balao_1 a Balao_3	3	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Eletrons 1 a 132 da parede de lá	132	LVDC	Ao ser tocado por um balão, desaparecem (são retirados). Se for clicado o botão de reset, volta a aparecer	7705, 7709	Eletron1 a Eletron132	132	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Botão de Reset da Parede de Lá	1	LVDC	Envia mensagem para que todos os elétrons voltem a aparecer	0, 7709	Botao_Reset_la	1	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Botão para Ocultar Cargas na Parede de Lá	1	LVDC	Envia mensagem para ocultar todas as cargas elétricas	0, 7710	Botao_Ocultar_la	1	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Eletrons 1 a 25 na parede de tijolos	25	LVDC	Se movem um pouco se balão tocar	8709	Eletrontij_1 a Eletrotij_25	25	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Botão para Ocultar Cargas na Parede de Tijolos	1	LVDC	Envia mensagem para ocultar todas as cargas elétricas	0, 8709	Botao_ocultar_tij	1	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Parede de Tijolos	6	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Parede de Lá	6	LVDC	Ambientação	-	-	0	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Totem de Instruções dos Balões	3	LVDC	Instruções	-	-	0	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Totem do Quiz do Experimento dos Balões	1	LVDC	Instruções	-	-	0	
LVDC ESD Experimento dos Balões	Botão 1 a 3 do Quiz	3	LVDC	Ao clicar mostra a pergunta e as opções, se o aluno acertar, o botão fica verde, se errar, fica vermelho. Cor default: cinza	-13572491 a -13572495	Q1_Balao a Q3_Balao	1	

LVDC ESD Acumulador de Cargas	Sala Acumulador de Cargas	10		Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Totem de Instruções do Acumulador de Cargas	3	LVDC	Instruções	-	-	0
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Esteira	14	LVDC	Simula o movimento de uma esteira se ligada e com a velocidade definida no painel	3505, 3506	Esteira	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Sensores para simular movimento do avatar	12	LVDC	Se avatar tocar, força o movimento do avatar para trás	-	Sensor_esteira	8
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Painel de Comando da Esteira	1	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Botão de Acionamento da Esteira	1	LVDC	Envia mensagem para ligar ou desligar a esteira	3505	Acionam_esteira	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Cursor de Velocidade da Esteira	1	LVDC	Envia mensagem da velocidade da esteira	3506	Veloc_esteira	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Cancela de saída da esteira	2	LVDC	Abre após alguns segundos de pressionado o botão de início do experimento	640	Cancela_esteira	2
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Umificador de Ar	69	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Ar condicionado	4	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Botão de liga/desliga do umificador de a	1	LVDC	Ao ligar incrementa o valor de umidade, ao desligar decrementa, envia mensagem de texto sobre status	0	-	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Botão de liga/desliga do ar condicionado	1	LVDC	Ao ligar decrementa o valor de umidade, ao desligar incrementa, envia mensagem de texto de status	0	-	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Display de umidade	21	LVDC	Mostra o valor de umidade conforme cálculo realizado	901 a 920	SegDisp_Umid1 a SegDisp_Umid20	21
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Medidor de tensão triboelétrica	1	LVDC	Ambientação	-	-	-
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Display do medidor de tensão	42	LVDC	Mostra o valor de tensão conforme cálculo realizado	801 a 841, 901	SegDisp_Umid1 a SegDisp_Umid41	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Botão para ligar/desligar o medidor de tensão	1	LVDC	Caso seja desligado envia mensagem para ocultar os segmentos do display	901	Botao_liga_medidor	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Eletrodo para medição de tensão	4	LVDC	Quando clicado por 5 segundos ininterruptos, envia mensagem que foi acionado	640, 642, 797	Eletrodo_esteira	1
LVDC ESD Acumulador de Cargas	Botão para início do experimento da esteira	1	LVDC	Reseta o contador de tempo e envia mensagem para abrir as cancelas da esteira	640	Botao_inicio_exp_esteira	1
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Sala Ionizador de Ar e Exaustor	8	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Totens com informações teóricas	10	LVDC	Informações sobre ESD	-	-	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Totem de instruções	4	LVDC	Instruções	-	-	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Bancada de trabalho	8	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Ionizador de ar	1	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Led do ionizador de ar	1	LVDC	Acende (aumenta o brilho) quando a velocidade é maior que zero	3510	Led_ionizador	1
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Botão do ionizador de ar	1	LVDC	Gira para a direita a esquerda quando clicado sobre ele e mantido apertado, envia mensagem para aumento do valor de velocidade se girar para a direita e reduzir se girar para esquerda	3510	Botao_ionizador	1
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Ventilador do ionizador de ar	1	LVDC	Gira de acordo com a velocidade	3510	Exaustor_LVDC	1
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Exaustor de ar	120	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Led do Exaustor de ar	1	LVDC	Acende quando o exaustor está ligado	453	Led_exaustor	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Botão de liga/desliga do exaustor de ar	1	LVDC	Quando ligado envia mensagem para mostrar o fluxo de partículas	453	Botao_exaustor	1
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Partículas do exaustor de ar	16	LVDC	Aparecem quando ligado o exaustor de ar	453, 3510	Particulas_1 a Particulas_16	16
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Sensor de Partículas	3	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Indicador do sensor de partículas	1	LVDC	Muda a tonalidade de branco para cinza de acordo com a velocidade do ventilador do ionizador de ar e se ligado ou desligado o exaustor	453, 3510	Sensor_particulas	1
LVDC ESD Ionizador e Exaustor	Botão de pergunta	1	LVDC	Quando clicado abre uma caixa de mensagens e faz uma pergunta ao aluno	-13572402	Pergunta_Ionizador	1
LVDC ESD Desafio Materiais ESD	Totem de instruções	5	LVDC	Instruções	-	-	0
LVDC ESD Desafio Materiais ESD	Quadro de perguntas	12	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Desafio Materiais ESD	Botão para avanço do slide	1	LVDC	Quando clicado envia mensagem do slide a mostrar	2001	Botao_pergunta_slide	1
LVDC ESD Desafio Materiais ESD	Slide 1 a 4 do Quadro de Perguntas	4	LVDC	Apresenta a pergunta	2001	Slide1 a Slide4	4
LVDC ESD Desafio Materiais ESD	Estação 1 a 4 de Materiais	49	LVDC	Ambientação	-	-	0
LVDC ESD Desafio Materiais ESD	Totem 1 a 4 de Materiais	8	LVDC	Ao clicado, envia mensagem da resposta correspondente ao material	2002	Botao_Totem1 a Botao_Totem4	4
LVDC ESD Desafio Materiais ESD	Materiais de 1 a 4	140	LVDC	Ambientação	-	-	0
Subtotal LVDC ESD (Objetos)			803			Subtotal LVDC ESD (Scripts)	245
FVA Geral	Prédio do FVA, Salas	36	FVA	Ambientação	-	-	0
FVA Geral	Botão Porta Externa e Interna	2	FVA	Ambientação/Envia mensagem de abrir porta se clicado	5001	Chave_Porta_Principal_FVA1 e 2	2
FVA Geral	Porta Interna FVA	1	FVA	Ambientação/Abriu Porta	5001	Porta Principal_FVA	1
FVA Hall de Entrada	Sensor de presença	1	FVA	Envia mensagem de boas-vindas, registra a presença do avatar e reatua dispositivos de proteção ESD caso estejam vestidos no avatar	0, 432, 1401, 1402, 1403	Chegada_FVA	1
FVA Hall de Entrada	Design de interiores	360	FVA	Ambientação	-	-	0
FVA Hall de Entrada	Botão Porta Externa e Interna Hall	2	FVA	Envia mensagem de abrir porta se clicado	5005	Chave_Porta_InternaFVA1 e 2	2
FVA Hall de Entrada	Porta Interna Hall	1	FVA	Abriu Porta	5005	Porta_InternaFVA1	1
FVA Corredor	Design de interiores	612	FVA	Ambientação	-	-	0
FVA Corredor	Trilha do AGV	11	FVA	Sensor de toque: se o avatar pisar, envia mensagem de texto e sonora alertando o risco dos AGVs	0	Sensor Trilha	1
FVA Corredor	Material no AGV1 e AGV 2	40	FVA	Ao ser clicado abre uma janela de texto solicitando quantos metros deve ser movimentado (<0 no sentido entrada) e recebe mensagem dos "Smart Shelves" para movimentação, movimenta-se a quantidade de metros solicitado a menos que chegue no final do circuito ou tenha um outro AGV no caminho, reduz a velocidade ao passar em frente de portas, envia mensagem de localização (x,y) a cada movimento	-19572468, 1212, 1501	AGV1 e AGV2	2
FVA Corredor	Material no AGV1 ou AGV 2	40	FVA	Caso tenha produto no AGV, ao clicar sobre o produto indica qual o código do produto, caso tenha o produto o mostra, caso não tenha o produto, mostra o código do produto e o código do produto. Movimento junto com o AGV	-13572907, 1212, 1213, 1501, 990	Material1 e Material2	2
FVA Estação de Prevenção	Sensor das Calcanheiras	1	FVA	Verificar se o avatar está na posição correta de medição	560	Sensor_Calcanheira	1
FVA Estação de Prevenção	Sensor do Painel	1	FVA	Quando tocado, envia informação para validação do teste de pulseira se clicado por mais de 5 segundos	556	Sensor_Painel	1
FVA Estação de Prevenção	Painel da Estação	1	FVA	Ambientação	-	-	0
FVA Estação de Prevenção	Monitor da Estação	1	FVA	Ambientação	-	-	0
FVA Estação de Prevenção	Plugue pulseira ESD	1	FVA	Indica que pulseira foi conectada, caso existente	557	Conecta_Pulseira	1
FVA Estação de Prevenção	Botão de seleção do painel	1	FVA	Quando clicado, muda a posição de seleção entre teste de pulseira e calcanheira e manda mensagem para o canal indicando o status	551	Selecao_Painel	1
FVA Estação de Prevenção	Botão 1 de Operação do Monitor	1	FVA	Solicita o código do aluno ao ser clicado e iniciar rotina de verificação, mostra botao 2	561	Botao1_monitor	1
FVA Estação de Prevenção	Botão 2 de Operação do Monitor	1	FVA	Verifica se condições do teste foram atendidas ao clicar no botão, se forem, mostra tela "OK", se não, mostrar tela "não OK", habilita a taxa das calcanheiras e pulseira	558	Botao2_monitor	1
FVA Estação de Prevenção	Armazenagem de pulseira	1	FVA	Envia mensagem para mostrar ou esconder a pulseira do avatar se for clicado no local de armazenagem	552	Arm_pulseira	1
FVA Estação de Prevenção	Armazenagem da calcanheira esquerda e direita	1	FVA	Envia mensagem para mostrar ou esconder a calcanheira do avatar se for clicado no local de armazenagem	554, 555	Arm_calcesq, Arm_calcdireita	1
FVA Sala de Montagem	Botão Externo Porta Sala de Montagem e Botão Interno Porta Sala de Montagem	2	FVA	Ambientação/Envia mensagem de abrir porta se clicado	5021	Chave_Porta_Montagem	1
FVA Sala de Montagem	Porta Sala de Montagem	1	FVA	Ambientação/Abriu Porta	5021	Porta Montagem	1
FVA Sala de Montagem	Design de interiores	320	FVA	Ambientação	-	-	0
FVA Sala de Montagem	Sensor de entrada após a faixa	2	FVA	Ao avatar tocar as faixas de entrada, verificar se os dispositivos de proteção ESD estão colocados e validados e envia mensagem de texto indicando o status	0, 2001, 5000, 1403, 777, 787	Sensor_EntMontagem	1
FVA Sala de Montagem	Lembrete de Instruções	1	FVA	Apresenta na tela um texto sobre um objeto indicando as instruções	-	Texto_Instrucoes Montagem	1
FVA Sala de Montagem	Estações de trabalho		FVA	Ambientação	-	-	0
FVA Sala de Montagem	Gavetas 1 e 2 FVA	180	LVDC	Abriu ou fechou Gaveta, Mostrar e Ocultar Objetos, Enviar msg de status	0, 801 a 820	GavetaFVA1 a GavetaFVA20	20
FVA Sala de Montagem	Displays com o número da estação de trabalho	10	FVA	Fica na cor verde quando a estação estiver liberada para o trabalho, azul quando não estiver ativa, amarelo quando estiver em fase de setup ou vermelho no caso de problemas	331 a 350	DisplayPos1 a DisplayPos10	10
FVA Sala de Montagem	Objetos 1 a x da estação de trabalho	x	FVA	Ao clicar no objeto mostra mensagem de texto com o nome do objeto	0	Objeto_1 a Objeto_x	x
FVA Sala de Montagem	Carro de transporte 1 a 15	975	FVA	Ambientação	-	-	0

FVA Sala de Montagem	Bandejas de Materiais 1 a 50	750	FVA	Ao clicar na bandeja, abre uma caixa de mensagem perguntando para onde transferir, ao transferir ocultar a bandeja no local atual e enviar mensagem para o destino pra que a bandeja do destino apareça e considere o código do material de origem, verificar se o local de destino está vazio	13572501, - 13572502, 510101 a 510150	Bandeja Material 1 a xxx	xxx
FVA Sala de Montagem	Bandeja de Produtos 1 a 10	550	FVA	Ao clicar na bandeja, abre uma caixa de mensagem perguntando para onde transferir, ao transferir ocultar a bandeja no local atual e enviar mensagem para o destino pra que a bandeja do destino apareça e considere o código do produto de origem, verificar se o local de destino está vazio	13572501, - 13572502, 520101 a 520150	Bandeja Produto 1 a xxx	yyy
FVA Sala de Montagem	Armário de produtos	16	FVA	Ambientação	-	-	-
FVA Sala de Montagem	Armários de Materiais	96	FVA	Ambientação	-	-	-
FVA Sala de Montagem	Monitor Smart Shelf de Produto	6	FVA	Ambientação	-	-	-
FVA Sala de Montagem	Monitor Smart Shelf de Materiais	6	FVA	Ambientação	-	-	-
FVA Sala de Montagem	Tela Smart Shelf de Produto	1	FVA	Indica a posição de cada produto	-	TelaProduto	1
FVA Sala de Montagem	Tela Smart Shelf de Materiais	1	FVA	Indica a posição de cada material, indica a posição dos AGVs	-	TelaMateriais	1
FVA Sala de Montagem	Botão para chamada do AGV mais próximo	1	FVA	Verificar qual o AGV mais próximo, calcula a distância dele da sala, e envia mensagem para o AGV mais próximo se deslocar a distância calculada	1211, 1212, 1501, 1504	BotaoAGVProximo	1
FVA Sala de Montagem	Botão para chamada do AGV1, AGV2	2	FVA	Calcula a distância do AGV desejado da sala, e envia mensagem para o AGV se deslocar a distância calculada	1211, 1212, 1501, 1504	BotaoAGV1, BotaoAGV2	2
FVA Sala de Montagem	Monitor de computador	1	FVA	Ambientação	-	-	-
FVA Sala de Montagem	Botão de mudança de página	1	FVA	Ao clicar envia mensagem para avanço de uma página. Se na página 3, envia mensagem para ir para página 1	990	BotaoPaginaChecklist	1
FVA Sala de Montagem	Tela do monitor com checklist (3 páginas)	3	FVA	Muda a tela conforme a página, mostrando os itens do checklist da página	990	TelaChecklist1 a TelaChecklist3	3
FVA Sala de Montagem	Botão 1 a 45 do Checklist Virtual	45	FVA	Alternar entre a cor verde e vermelha, comunicar status em canal	333, 990, 66101 a 66145	Botao1 a 45	45
FVA Sala de Montagem	Botão de verificação de status	1	FVA	Verifica o status de cada botão, se os dispositivos de proteção ESD foram de fato colocados e validados	333, 990, 66101 a 66145	Botao_verificacao	1
FVA Sala de Montagem	Ferramenta 1 até 31	31	LVDC	Desloca ferramenta entre gaveta e bancada, Apresentar nome e código da ferramenta ao clicar nela, status de posição	-13572498, 0, 801 a 831	Ferramenta1 a Ferramenta31	31
FVA Sala de Montagem	Placa de Status de Setup	1	FVA	Alternar entre a cor verde e vermelha se todos os botões estiverem verdes e for clicado sobre ele	-13572491	PlacaStatus_FVA	1
Subtotal FVA (Objetos)		5339				Subtotal LVDC FVA (Scripts)	418
TOTAL DE OBJETOS		6687				TOTAL DE SCRIPTS	835

APÊNDICE I – Variáveis de Desempenho da Tentativa de Aplicação

Local	Variáveis	Competências															
		1.1	1.2	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
L.VDC FOD	t1: tempo de execução da primeira parte do exercício da sala 1																
L.VDC FOD	t2: tempo de execução da segunda parte do exercício da sala 1																
L.VDC FOD	t3: tempo de execução do exercício na sala 2																
L.VDC FOD	e1: quantidade de erros na primeira parte do exercício da sala 1																
L.VDC FOD	e2: quantidade de erros na segunda parte do exercício da sala 1																
L.VDC FOD	e3: quantidade de erros no exercício da sala 2																
L.VDC FOD	q1: percentual de acertos no questionário sobre FOD																
L.VDC FOD	t1.1: tempo de acesso material instrucional																
L.VDC ESD	t4: tempo de execução do experimento dos balões.																
L.VDC ESD	t5: tempo de execução do experimento do acumulador de cargas.																
L.VDC ESD	t6: tempo de execução da atividade de teste das calcanheiras e pulseira.																
L.VDC ESD	t7: tempo de execução da atividade de operação do ionizador de ar.																
L.VDC ESD	t8: tempo de execução do "desafio materiais ESD"																
L.VDC ESD	e4: quantidade de erros no teste de calcanheiras e pulseira																
L.VDC ESD	e5: quantidade de erros no ajuste do ionizador de ar																
L.VDC ESD	q2: quantidade de erros no Quiz do experimento dos balões.																
L.VDC ESD	q3: quantidade de erros no Quiz do experimento do acumulador de cargas.																
L.VDC ESD	q4: quantidade de erros no Quiz do experimento do ionizador de ar																
L.VDC ESD	q5: quantidade de erros no "desafio materiais ESD"																
L.VDC ESD	q6: percentual de acertos no questionário sobre ESD																
L.VDC ESD	t1.2: tempo acesso material instrucional																
FVA	t9: tempo de teste de calcanheira e pulseira																
FVA	t10: tempo para setup do material com o AGV.																
FVA	t1.1: tempo para setup dos produtos prontos.																
FVA	t1.2: tempo de execução do checklist, incluindo a correção de FODs																
FVA	q7: quantidade de erros no procedimento de teste de pulseiras e calcanheiras																
FVA	q8: quantidade de erros do setup do material com o AGV																
FVA	q9: quantidade de erros no setup dos produtos prontos.																
FVA	q10: quantidade de erros de execução do checklist																

Legenda: O: variável de desempenho não utilizada para cálculo de proficiência
 X: variável de desempenho utilizada para cálculo de proficiência

APÊNDICE J – Instrumentos de Avaliação da Tentativa de Aplicação

Competência	Instrumento de Avaliação		
	Tarefas Autênticas	Exercícios no LVA	Quiz
1.2 Organização de Informações	Checklist virtual	Facultativo	-
1.6 Sensibilidade a Problemas	Exercícios sobre FOD	Exercícios sobre FOD	-
2.2 Julgamento e Tomada de Decisão	Sim	Facultativo	Quiz do acumulador de cargas
2.3 Correção de Falhas (Troubleshooting)	Exercícios sobre FOD	Exercícios sobre FOD	-
3.3. Habilidades de Setup	Checklist virtual, FOD, ESD	Checklist virtual, FOD, ESD	-
3.3 Capacidade de Visualização	Atividades na FVA	Exercícios	-
4.1 Tecnologias da Indústria 4.0	Tecnologias na FVA	-	-
4.2 Emergência Digital	Tecnologias na FVA	-	-

APÊNDICE K – Matriz de Requisitos para Implementação

Requisito		Atividades Relacionadas	Competências Relacionadas
Nº	Descrição		
1	O LVDC deve ter uma aparência atraente aos alunos	A7	-
2	O LVDC deve possuir instruções para os exercícios.	A7	1.2, 2.3, 3.3, 3.4
3	Deve existir um exercício no LVDC FOD para o preenchimento do checklist do posto de trabalho	A7	1.2, 2.3, 3.3, 3.4
4	Deve existir um exercício no LVDC FOD para desenvolver a capacidade de localizar FODs	A7	1.2, 2.3, 3.3, 3.4
5	Deve existir um exercício no LVDC FOD para desenvolver a capacidade de identificar o tipo de FOD	A7	1.2, 3.3, 3.4
6	Deve existir no LVDC material instrucional para os alunos acessarem no formato de texto, áudio e vídeo, reforçando a importância do assunto e seus conceitos principais	A1, A7	1.2, 3.3, 3.4
7	Os exercícios do LVDC devem ser apresentados aos alunos no formato de desafio	A7	2.3
8	Um dos exercícios do LVDC deve ser desenvolvido usando o paradigma “Escape Room”	A7	2.3
9	Devem ser mostradas mensagens aos alunos para indicar o resultado de suas interações com os objetos no LVDC e na FVA	A1, A3, A7	-
10	O aluno poderá executar os exercícios na ordem que preferir	A1, A3, A7	-
11	Os resultados dos experimentos do LVDC devem representar corretamente os fenômenos físicos envolvidos	A1, A3, A7	3.3
12	O LVDC ESD deve ter um exercício para capacitação no equipamento de teste de calcanheiras e pulseiras ESD	A1	1.6, 2.3, 3.3, 3.4
13	O LVDC ESD deve ter um exercício para o aluno desenvolver o entendimento sobre os conceitos de eletricidade estática	A1	3.3, 3.4
14	O LVDC ESD deve ter um exercício para que o aluno entenda o impacto de calcanheiras	A1	1.2, 2.3, 3.3, 3.4
15	O LVDC ESD deve ter um exercício para o aluno aprender a operar o ionizador de ar	A1	1.6, 2.3, 3.3, 3.4
16	O LVDC ESD deve ter um exercício para o aluno entender a utilizada do	A1	1.6, 2.3, 3.3, 3.4

	ionizador de ar e do exaustor de ar		
17	O LVDC ESD deve ter um exercício para o aluno saber identificar os materiais ESD	A1	3.3, 3.4
18	Deve existir um exercício para capacitar os alunos para movimentação e visualização no Mundo Virtual	A1, A3, A7	-
19	A FVA deve representar de forma fidedigna a fábrica virtual	A1, A3, A7	3.3, 3.4
20	A FVA deve incorporar os seguintes elementos da Indústria 4.0: AGV, IoT, Smart Shelf	A1, A3, A7	4.1, 4.2
21	A FVA deve ter um equipamento para teste de calcanheiras e pulseiras ESD	A1	1.2, 1.6, 3.3, 3.4
22	Deve ter na FVA um local para armazenagem de calcanheiras e pulseiras ESD	A1	1.2, 1.6, 3.3, 3.4
23	Deve ser detectado na entrada da sala de montagem a presença ou não de dispositivos de proteção ESD	A1	4.1, 4.2
24	Deve ser possível na FVA operar manualmente os AGVs	A3	2.3, 4.1, 4.2
25	Deve ser possível na FVA chamar os AGVs a partir do MES	A3	2.3, 4.1, 4.2
26	Deve ter um exercício na FVA para a busca de material no AGV	A3	2.3, 4.1, 4.2
27	Deve ter um exercício para transferir produto pronto usando o “Smart Shelf”	A3	2.3, 4.1, 4.2
28	Deve ter na FVA um checklist virtual que represente todas as ferramentas de montagem mecânica e cuidados com ESD	A1, A7	3.3, 3.4, 4.1, 4.2
29	O checklist virtual na FVA deve identificar se o aluno realmente está com dispositivos ESD e se foram aprovados no teste	A1	4.1, 4.2
30	A bancada de trabalho na sala de montagem mecânica da FVA deve representar de forma realista a bancada de trabalho utilizada	A7	3.3, 3.4
31	Deve ser possível ao instrutor configurar facilmente na FVA a posição de cada ferramenta da caixa de ferramentas	A7	3.3, 3.4
32	O aluno deve poder transferir cada ferramenta da FVA da sua posição na caixa de ferramentas para a bancada de trabalho	A7	3.3, 3.4, 4.1, 4.2
33	O aluno deve poder abrir as gavetas da FVA	A7	3.3, 3.4
34	O aluno deve poder operar o ionizador de ar da sala de montagens da FVA	A7	3.3, 3.4