

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**CONFIGURAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE DEMONSTRADOR DE  
INDÚSTRIA 4.0 PARA APOIAR O DESENVOLVIMENTO DE  
SOLUÇÕES 4.0 PARA EMPRESAS DE MANUFATURA**

**Eng. Júlia de Andrade Bertazzi**

Santa Bárbara d'Oeste  
Dezembro 2020

CONFIGURAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE DEMONSTRADOR DE  
INDÚSTRIA 4.0 PARA APOIAR O DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES  
4.0 PARA EMPRESAS DE MANUFATURA

**Área de Concentração:** Engenharia do Produto e do Processo

**Linha de Pesquisa:** Engenharia do Processo

**Eng. Júlia de Andrade Bertazzi**

ORIENTADOR: PROF. DR.-ING. KLAUS SCHÜTZER

Dissertação apresentada à Banca  
Defesa de Mestrado no Programa  
de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Metodista de  
Piracicaba

Santa Bárbara d'Oeste  
Dezembro 2020

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ANEXOS.....	IX
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	X
RESUMO.....	XII
ABSTRACT .....	XIII
1 Introdução .....	1
1.1 Contribuição da dissertação .....	4
1.2 Estrutura da dissertação.....	5
2 Revisão Bibliográfica .....	7
2.1 Indústria 4.0.....	7
2.1.1 Sistemas Físico-Cibernéticos (CPSs).....	9
2.1.2 Internet das Coisas (IoT).....	12
2.1.3 Internet de Serviços (IoS).....	14
2.1.4 Fábrica Inteligente.....	15
2.2 Modelo de arquitetura e dados .....	21
2.2.1 RAMI 4.0.....	24
2.2.2 Componente 4.0.....	32
2.2.3 Invólucro Administrativo .....	36

2.3	Implementação da Indústria 4.0.....	43
2.3.1	Princípios de design.....	44
2.3.2	Modelos de Maturidade: Ferramentas e métodos .....	50
3	Justificativa, Objetivos e Método de pesquisa.....	62
3.1	Motivação .....	62
3.2	Problema de pesquisa e Objetivo do trabalho .....	64
3.3	Método de pesquisa .....	65
3.4	Desenvolvimento do trabalho .....	72
4	Método para o planejamento de um Demonstrador de Indústria 4.0.....	77
4.1	Planejamento .....	78
4.1.1	Passo 1: Identificar expectativas e compreender o sistema .....	79
4.1.2	Passo 2: Avaliar a maturidade do sistema.....	80
4.1.3	Passo 3: Definir proposta de projeto inicial.....	86
4.1.4	Passo 4: Apresentar proposta ao comitê.....	87
4.2	Modelagem.....	87
4.2.1	Passo 1: Desenvolver estratégia e plano de trabalho.....	88
4.2.2	Passo 2: Desenvolver Caso de Uso .....	90
4.2.3	Passo 3: Modelar sistema .....	90
4.2.4	Passo 4: Apresentar modelo ao comitê .....	92
4.3	Detalhamento .....	92
4.3.1	Passo 1: Arquitetar sistema.....	93
4.3.2	Passo 2: Documentar projeto e sistema.....	94

4.3.3	Passo 3: Apresentar projeto ao comitê.....	94
4.4	Implementação.....	95
4.4.1	Passo 1: Adquirir recursos .....	96
4.4.2	Passo 2: Instalar aplicativos e tecnologias .....	96
4.4.3	Passo 3: Integrar sistema.....	96
5	Resultados e Análises - Demonstrador Indústria 4.0 .....	98
5.1	Planejamento .....	98
5.1.1	Identificar expectativas do cliente e alinhar os conhecimentos..	98
5.1.2	Compreender o sistema atual .....	99
5.1.3	Avaliar o nível de maturidade .....	102
5.1.4	Propor melhorias de processo.....	105
5.1.5	Proposta de Projeto .....	109
5.2	Modelagem.....	111
5.2.1	Desenvolver estratégia.....	111
5.2.2	Desenvolver casos de uso .....	113
5.2.3	Modelagem do sistema inteligente .....	115
5.3	Detalhamento .....	126
5.3.1	Arquitetura e documentação do sistema .....	126
5.4	Implementação.....	129
5.4.1	Resultados .....	129
6	Considerações finais e trabalhos futuros .....	135
7	Bibliografia.....	138

Anexo ..... 147

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fábrica Inteligente na Indústria 4.0 (adaptado de [2]) .....	17
Figura 2: Modelo de Referência para Arquitetura da Indústria 4.0 (RAMI 4.0) (adaptado de [5]) .....	26
Figura 3: Mapeamento de tecnologias no RAMI 4.0 (adaptado de [15]).....	30
Figura 4: Tecnologias no RAMI 4.0 na Instância Produção (adaptado de [15]).....	31
Figura 5: Componente da Indústria 4.0 (adaptado de [5]) .....	34
Figura 6: Propriedades e identificadores de um recurso no AS (adaptado de [45]).	35
Figura 7: Relação de um C 4.0 com o eixo “Camadas” do RAMI 4.0 (adaptado de [9,43]) .....	36
Figura 8: Estrutura e representação de um C 4.0 (adaptado de [45,5]).....	38
Figura 9: Sistema de montagem em um AS (adaptado de [45]).....	40
Figura 10: Vínculos entre os princípios de design na Indústria 4.0 (adaptado de [58]) .....	49
Figura 11: Toolbox Industrie 4.0 (adaptado de [13]).....	53
Figura 12: Metodologia para implementar a Indústria 4.0 (adaptado de [3]).....	55
Figura 13: Etapas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 (adaptado de [3]) .....	56
Figura 14: Modelo do Indicador de Maturidade (adaptado de [3]) .....	58
Figura 15: Áreas estruturais (adaptado de [3]) .....	60
Figura 16: Metodologia de projeto do CPS colaborativo inspirada no DSR (adaptado de [12]) .....	66
Figura 17: Método de pesquisa.....	68
Figura 18: Levantamento de pesquisa .....	72
Figura 19: Método de planejamento de projetos de Indústria 4.0.....	77
Figura 20: Planejamento.....	78
Figura 21:Princípios e competência dos Recursos (adaptado de [3]).....	82

Figura 22: Competência 1 - Prover competências digitais .....	83
Figura 23: Modelagem .....	88
Figura 24: Detalhamento .....	93
Figura 25: Implementação .....	95
Figura 26: Pedido do projeto.....	99
Figura 27: Matriz FOFA (SWOT) do projeto.....	99
Figura 28: Produto do Demonstrador.....	100
Figura 29: Processo geral do Demonstrador.....	101
Figura 30: Simulação processo inicial.....	106
Figura 31: Simulação processo otimizado .....	106
Figura 32: Diagrama caso de uso Processo Demonstrador .....	113
Figura 33: Diagrama caso de uso Realizar procedimentos de produção .....	114
Figura 34: Narrativa do caso de uso “Usinagem” .....	115
Figura 35: Diagrama UML de atividade Processo Demonstrador.....	116
Figura 36: Arquitetura de comunicação do Demonstrador .....	118
Figura 37: Diagrama de Sequência .....	120
Figura 38: Diagrama de Atividade das operações e sinais no processo de Usinagem .....	123
Figura 39: Diagrama de máquina de estado a) visão geral b) operações .....	123
Figura 40: Diagrama de classe resumido.....	124
Figura 41: Diagrama de classe - Agregação das classes no processo de usinagem.....	125
Figura 42: Modelo 3D do demonstrador de Indústria 4.0 .....	127
Figura 43: Estações de trabalho implementadas .....	130
Figura 44: Status das atividades.....	131
Figura 45: Atividades realizadas na etapa 1 e 2 .....	131
Figura 46: Requisitos implementados .....	133

Figura 47: Grau de Maturidade do Demonstrador atualmente .....133

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos processos .....	102
Tabela 2: Características e funções gerais do nível de maturidade de Visibilidade .....	103
Tabela 3: Lista de Requisitos.....	104
Tabela 4: Estoque de reposição (ótimo) - bases.....	107
Tabela 5: Proposta das macro etapas para o projeto.....	110
Tabela 6: Subprojetos da Etapa 1 - Roteiro estratégico .....	112
Tabela 7: Sinais do processo de Usinagem .....	122
Tabela 8: Arquitetura estações de trabalho.....	128

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Prover competências digitais .....	147
Anexo 2: Aquisição automática de dados através de sensores e atuadores .....	148
Anexo 3: (Pré) processamento descentralizado de dados dos sensores .....	149
Anexo 4: Comunicação eficiente.....	150
Anexo 5: Projeto de interface baseado em tarefas.....	151
Anexo 6: Produtos e suas customizações .....	152
Anexo 7: Descrição dos processos do Testbed .....	153
Anexo 8: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 1 .....	154
Anexo 9: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 2 .....	155
Anexo 10: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 3 .....	156
Anexo 11: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 4 .....	157
Anexo 12: Legenda de cores de divisão das características de maturidade .....	157
Anexo 13: Subprojetos da Etapa 1 - Roteiro estratégico.....	158
Anexo 14: Subprojetos da Etapa 2 - Roteiro estratégico.....	159
Anexo 15: Narrativa do Caso de Uso Usinagem – Cabeçalho e Curso Típico .....	160
Anexo 16: Narrativa do Caso de Uso Usinagem – Curso Alternativo e de Exceção.....	161
Anexo 17: Narrativa do Caso de Uso Iniciar Processo.....	162
Anexo 18: Diagrama de Sequência de um processo produtivo .....	163
Anexo 19: Diagrama de classe – Produto Usinagem .....	164
Anexo 20: Diagrama de classe – Gerar Ordem de Produção .....	164
Anexo 21: Diagrama de classe – Processo Usinagem.....	165
Anexo 22: Estação de Trabalho.....	165
Anexo 23: Relação generalização-especialização das estações de trabalho.....	166
Anexo 24: Arquitetura estações de trabalho .....	167

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BPMN.....	Modelo e Notação de Processos de Negócio
C 4.0.....	Componente 4.0
CNC.....	Comando Numérico Computadorizado
CPS.....	Sistema Físico Cibernético
CPPS.....	Sistema de Produção Físico Cibernético
DSR.....	<i>Design Science Research</i>
ERP.....	<i>Enterprise Resource Planning</i>
GUI.....	Interface Gráfica de Usuário
SHM.....	Sistema Holônico de Manufatura
TIC.....	Tecnologias de Informação e Comunicação
IA.....	Inteligência Artificial
IDE.....	Integrated Drive Electronics
IloT.....	Industrial Internet of Things
IIRA.....	Arquitetura de Referência de Internet Industrial
Ind. 4.0.....	Indústria 4.0
IHM.....	Interface Homem Máquina
IoT.....	Internet of Things
IP.....	Internet Protocol
M2H.....	Machine-to-Human
M2M.....	Machine-to-Machine
MAS.....	Sistemas Multi Agentes
MES.....	Manufacturing Execution Systems
MM 4.0.....	Modelo de Maturidade
OPC-UA.....	Open Platform Communications Unified Architecture
CLP.....	Controle Lógico Programável
PM.....	Predictive Manufacturing
PME.....	Pequenas e Médias Empresas

RA.....	Realidade Aumentada
RAMI 4.0.....	Modelo de Arquitetura de Referência da <i>Indústria 4.0</i>
RFID.....	Identificação por Radiofrequência
SCADA.....	Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados
SI.....	Sistema de Informação
RM-AS.....	Arquitetura Orientada a Serviços
SRM.....	Sistema Reconfigurável de Manufatura
TI.....	Tecnologia da Informação
UML.....	Unified Modeling Language
VSM.....	Mapeamento do Fluxo de Valor
RV.....	Realidade Virtual
WAN.....	Rede de Longa Distância
WLAN.....	Rede Local Sem Fio

## RESUMO

A digitalização da manufatura, que resultou no conceito da Indústria 4.0, em referência à 4ª Revolução Industrial, representa o processo de adaptação das fábricas a um mercado e ambiente complexo e dinâmico. A Indústria 4.0 descreve a ampla integração da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) na produção industrial, e tem o objetivo de fornecer à empresa, a capacidade de se adaptar e aprender de forma ágil, eficiente, integrada e contínua em um ambiente em constante mudança. Um dos grandes desafios envolvidos com sua implementação prática é o desenvolvimento de uma estratégia adequada e alinhada as necessidades e objetivos específicos de negócio, que variam e diferem para cada cenário e/ou corporação. Diante disso, visando auxiliar no desenvolvimento e viabilização desta abordagem, este trabalho visa propor um método de planejamento de um sistema demonstrativo inteligente, dentro do conceito de Indústria 4.0, composto pelas etapas de planejamento, análise, modelagem e implementação do sistema inteligente, que atenda aos requisitos da Indústria 4.0. Para o desenvolvimento do método, foi adotada a abordagem DSR (*Design Science Research*). O método foi aplicado e validado durante o desenvolvimento de um Demonstrador de Indústria 4.0, que ocorreu em parceria com uma empresa multinacional de manufatura. Os resultados deste trabalho auxiliam no desenvolvimento de projetos de Indústria 4.0, de forma que possa ser utilizado ou adaptado para outros casos de uso focados em processos de manufatura.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Sistemas Físico-Cibernéticos; Digitalização; Implementação da Indústria 4.0

## ABSTRACT

The digitalization of manufacturing, which resulted in the concept of Industry 4.0, in reference to the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution, represents the process of adapting factories to a complex and dynamic market and environment. The Industry 4.0 approach describes the broad integration of Information and Communication Technology (ICT) in industrial production, and aims to provide the company with the ability to adapt and learn in an agile, efficient, integrated and continuous way in an environment characterized by constant changes. One of the major challenges that industries face is the development of a practical implementation strategy for Industry 4.0, appropriate and aligned with business needs and objectives, which is unique and different for each environment and/or company. Therefore, aiming to assist in the development and viability of this approach, this work aims to propose a method for planning and modeling a Testbed in accordance with the Industry 4.0 concepts, which include the planning, analysis, modeling and implementation phase of a smart system solution, which meets the requirements of the Industry 4.0. For the development of the method, the DSR (Design Science Research) approach was adopted. The method was applied and validated during the development of an Industry 4.0 Testbed, developed in partnership with a multinational manufacturing company. The results of this work enable a better understanding of the process for developing and implementing projects for Industry 4.0. In addition, the proposed method can be used or adapted for other use cases.

Keywords: Industry 4.0; Cyber Physical Systems; Digitalization; Implementation of Industry 4.0

## 1 Introdução

O ambiente de manufatura é atualmente marcado pela incorporação da digitalização nos processos de manufatura, produto, operações e sistemas relacionados à produção, resultando no conceito da Indústria 4.0, em referência à 4ª Revolução Industrial [1,2].

A abordagem da Indústria 4.0 (Ind. 4.0) descreve a ampla integração da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) na produção industrial [3], que incorpora o fornecimento de inteligência e capacidade de comunicação para os sistemas de produção [4].

Estes sistemas são compostos por várias e diferentes pessoas e objetos (produtos e recursos) que se comportam de forma independente, de acordo com os seus objetivos específicos de manufatura, montagem, logística interna, entre outros. Eles atuam no chão de fábrica de forma integrada, por meio das suas respectivas capacidades de comunicação, troca de informações e cooperação em tempo real e através de uma rede sem fio como a Internet [5,6].

O principal objetivo da Ind. 4.0 é transformar a empresa em um sistema capaz de se adaptar e aprender de forma ágil e contínua em um ambiente em constante mudança [3]. Como resultado espera-se um sistema de produção integrado, flexível, eficiente, ecológico, com alta qualidade e baixo custo [7].

O termo *Industrie 4.0* foi apresentado pela primeira vez na feira de Hannover no ano de 2011, iniciando um cenário internacional que reconhece a tendência de inovar na indústria de transformação e representou a busca do governo alemão em consolidar o país como líder na área de tecnologia, assim como o reconhecimento das novas tendências de inovação na indústria de manufatura [2]. Nos anos seguintes outros países também apresentaram seus próprios planos e iniciativas, a América do Norte 2012 lançou o conceito de Internet Industrial [2], Japão, Coreia do Sul e outros países europeus e asiáticos que

desenvolveram suas próprias estratégias e posições de mercado, e a China em 2015 teve a iniciativa “*Made in China 2025*” [2,8].

O Brasil também tem apresentado propostas de agenda nacional para a Indústria 4.0. Em 2014 criou a Câmara Máquina a Máquina (M2M) e Internet das Coisas, com objetivo de desenvolver o “Plano Nacional de Comunicação M2M e Internet das Coisas”, composto por diversos subgrupos, além da instituição do Grupo de Trabalho para Indústria 4.0 (GTI 4.0) [1].

Um dos grandes desafios que as indústrias, tanto do Brasil quanto de outros países, enfrentam é o desenvolvimento de uma estratégia de implementação prática da Indústria 4.0, adequada e alinhada as necessidades e objetivos de negócio. No entanto, devido a singularidade de cada uma, o processo de implementação da Indústria 4.0 varia e difere para cada cenário [3].

A implementação de soluções de Indústria 4.0, orientada às especificações de cada organização, deve contar com modelos de maturidade que apoiem a avaliação e desenvolvimento de estratégias e roteiros para implementação [3].

A implementação da Ind. 4.0 é um projeto complexo que requer um planejamento e modelagem do ambiente inteligente minucioso, que considere tanto o ambiente físico quanto virtual de todo o processo, assim como a disponibilidade de diversos objetos na IoT, o que suscita preocupações sobre como esses objetos serão identificados e localizados com menor custo e tempo, a fim de permitir a comunicação em tempo real entre produtos, operadores e equipamentos [9].

Portanto, faz-se necessário o mapeamento e planejamento das comunicações e interações essenciais que ocorrem entre produtos, máquinas, pessoas e sistemas, com o objetivo de garantir que as informações sejam trocadas no momento correto e entre os atores corretos, e que sejam especificados e coletados dados essenciais para a geração de informação útil e consequente aprendizado para a empresa, sistema e gestores. Isto é possibilitado por procedimentos, métodos e abordagens que guiam as pessoas a cumprir os requisitos da Indústria 4.0 [10].

Para que o mapeamento e implementação de soluções de Indústria 4.0 ocorram de forma correta, é necessário que as organizações contem com modelos de maturidade e métodos para que esta implementação ocorra.

Cecil et al. [11] destaca a necessidade de que seja aprofundada a pesquisa sobre abordagens e métodos que facilitem o planejamento de interações e atividades de componentes inteligentes com base na troca de dados e/ou informações entre os componentes em um ambiente inteligente. Esta projeção de interações pode ser realizada com o apoio de linguagens de modelagem de sistemas assim como diagramas de atividades.

Buscando compreender e mapear as interações entre componentes no chão de fábrica, Pisching [9] desenvolve uma arquitetura para a organização dos componentes, considerando a autonomia das máquinas para verificar suas capacidades e a forma de guiar o produto nos processos de manufatura, tal como considerado na Ind. 4.0.

Neste ambiente de manufatura inteligente, os componentes inteligentes são móveis, e seus movimentos afetam as condições e arranjo de todo o chão de fábrica, dificultando a definição de limites físicos para a designação dos melhores caminhos de movimentação, levando a uma noção de mudança constante.

Em casos de estruturas complexas contendo vários ambientes e/ou sistemas autônomos, é importante uma abordagem para gerenciar a mobilidade interna (dentro da fábrica) desses componentes, em termos de adaptação às mudanças no posicionamento físico, hierarquia para tomada de decisão, e desenvolvimento de estratégias para adaptação apropriada. Uma vez que pequena mudança pode causar efeitos entre os vários processos de produção dentro da fábrica inteligente (ou mesmo dentro dos sistemas dos clientes e fornecedores externos) afetando a realização bem-sucedida de uma determinada tarefa [12].

Portanto, o cenário da 4ª Revolução Industrial traz muitos desafios para as empresas, e dentre os vários desafios possíveis, encontra-se aquele em relação ao gerenciamento e planejamento de projetos de implementação da Indústria

4.0, que se dá devido à grande complexidade desse sistema e carência em padrões definidos.

Com isto, define-se que o foco do trabalho desenvolvido nesta dissertação é em relação ao processo para a implementação de projetos de Indústria 4.0 em sistemas de produção.

## **1.1 Contribuição da dissertação**

Para que um projeto de transformação seja bem-sucedido, é essencial definir as fases de transição, as propostas de projetos e a maneira de introduzir os novos princípios, de acordo com as necessidades, requisitos e modelos de negócio da empresa e da manufatura inteligente. Atentando-se para que essas soluções não tenham apenas aspectos tecnológicos, uma vez que a Indústria 4.0 vai além, incluindo pessoas, negócios e toda a cadeia de valor durante a integração de ponta a ponta.

Para apoiar as empresas na transformação digital, com práticas da Indústria 4.0 e orientá-las estrategicamente, é essencial definir a estrutura e a metodologia das diretrizes de implementação, que ocorra de forma bem-sucedida, respeitando restrições e prioridades definidas, de acordo com as necessidades da empresa. Com este intuito, diversos autores desenvolveram ferramentas e modelos de maturidade, ideais para apoiar a elaboração de uma estratégia ou roteiro de implementação da Ind. 4.0.

Várias destas ferramentas e modelos são apresentados e utilizados neste trabalho, que busca discutir como deve ser planejado e modelado um sistema produtivo e quais são os procedimentos mais adequados para que este ambiente possa ser transformado em um sistema inteligente que respeite os requisitos da Indústria 4.0.

Para isto buscou-se a identificação dos requisitos e ferramentas que fornecerão os guias para o planejamento e implementação de um sistema inteligente e foram estudados as estruturas e arquiteturas de sistemas inteligentes propostas

na literatura. Também foi analisado métodos para planejamento e modelagem de sistemas inteligentes.

Buscando compreender melhor as necessidades esplanadas, e a partir de uma revisão bibliográfica aprofundada sobre os temas identificados essenciais, o trabalho visa responder a seguinte pergunta:

Como deve ser planejado e modelado um sistema produtivo para que ele possa ser transformado em um ambiente inteligente dentro dos requisitos da Indústria 4.0? E quais fatores e requisitos devem ser considerados durante a modelagem?

De modo a responder à pergunta, **o Objetivo Principal** deste trabalho é propor um método para o planejamento de um sistema demonstrativo e inteligente, incluindo a descrição das etapas que compõem o método e que garanta o atendimento aos requisitos da Indústria 4.0.

O objetivo geral e específico desse será discutido, aprofundado e detalhado no Capítulo 3, a partir da revisão bibliográfica sobre os temas afins a esse trabalho.

## 1.2 Estrutura da dissertação

Este trabalho possui sete capítulos que estão detalhados a seguir:

**Capítulo 1 Introdução** – Apresenta uma contextualização sobre o tema da pesquisa e indica as necessidades que são desenvolvidas nesta pesquisa.

**Capítulo 2 Revisão Bibliográfica** – Revisão da literatura sobre Indústria 4.0, modelos, ferramentas e modelos da Indústria 4.0.

**Capítulo 3 Justificativa, Objetivos e Método de pesquisa** – Apresentação dos objetivos, método de pesquisa e ferramentas para o desenvolvimento e implementação do trabalho, utilizando DSR (*Design Science Research*).

**Capítulo 4 Método para desenvolvimento de projetos de Indústria 4.0** – Aplicação do método de pesquisa para o desenvolvimento do método para planejamento e modelagem de projetos de Indústria 4.0.

**Capítulo 5 Resultados e Análises - Demonstrador Indústria 4.0** – Aplicação e validação do método em uma empresa multinacional de manufatura, para o planejamento e detalhamento de um Demonstrador de Indústria 4.0.

**Capítulo 6 Conclusão** – Conclusão do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

**Capítulo 7 Bibliografia** – Lista das referências utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

## 2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo estão apresentados os conceitos dos temas mais importantes para o embasamento do trabalho, incluindo uma discussão sobre as características e pilares da Indústria 4.0, arquiteturas de sistemas inteligentes, métodos para planejamento e implementação da Indústria 4.0 e tecnologias habilitadoras.

### 2.1 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 (Ind. 4.0) foi desencadeada pelo desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e incorporação da Internet na produção, causando uma mudança de paradigma nos processos de negócio e nas formas de fabricação, focado em um conceito de fabricação inteligente totalmente interconectado e auto organizado. Neste ambiente, máquinas, meios de produção e produtos interagem uns com os outros sem controle humano, trocam informações de forma autônoma, e se auto controlam de forma independente [6]; toda a cadeia de valor (clientes, empresa e fornecedores) é integrada resultando em redes dinâmicas, otimização em tempo real e auto-organização [13]; personalização em massa dos produtos oferecidos; e um sistema de produção flexível [2].

O paradigma da Indústria 4.0 segue quatro dimensões essenciais para sua implementação [5].

A primeira dimensão é a integração horizontal em toda a cadeia de valor para facilitar a colaboração das partes envolvidas e a digitalização da criação de valor nessa rede ao longo do ciclo de vida do produto [7], permitindo a troca eficiente de informações, finanças e material entre corporações. Portanto, novas redes de valor e modelos de negócios podem surgir [14].

Modelos de negócios orientados a dados estão surgindo nas áreas B2B (*Business-to-Business*) e B2C (*Business-to-Customer*), e podem substituir parcialmente os produtos físicos. No entanto, também há desafios a serem

enfrentados com esse novo modelo, referente a necessidade do uso de interfaces e protocolos de plataforma padrão que permita a comunicação em rede confiável e uniforme das diferentes plataformas dos vários fabricantes [15].

A segunda é a integração vertical de subsistemas físicos e de informação, como atuadores e sensores, controle, gerenciamento de produção, manufatura e planejamento corporativo, organizados em diferentes níveis, do chão de fábrica ao ERP (*Enterprise Resource Planning*), para criar um sistema de fabricação flexível e configurável. Neste ambiente estações, células, e máquinas inteligentes formam um sistema auto organizado que pode ser reconfigurado dinamicamente para se adaptar a diferentes tipos de produtos; baseados na coleta e processamento de informações massivas que tornam o processo de produção transparente [14,7].

A comunicação efetiva entre produto e máquina, permite às máquinas otimizarem seu comportamento conforme o tipo e características do produto que devem processar. Sendo necessário o desenvolvimento de mecanismos que garantam a capacidade dos produtos de descobrir os equipamentos adequados as operações que devem ser realizadas [9].

A terceira é o gerenciamento do ciclo de vida com engenharia integrada em todo o ciclo de vida do produto para apoiar a personalização do produto [14,7]. Esta dimensão refere-se à integração e digitalização do modelo e informações referentes a um produto ao longo de todas as fases do ciclo de vida desse produto, incluindo desde a obtenção dos requisitos do cliente, *design*, fabricação, uso, até o descarte e/ou reciclagem [7].

A quarta dimensão é o ser humano, realizando o papel de elemento central, responsável por gerenciar e organizar o sistema produtivo e o fluxo de valor [5].

O ambiente de manufatura está se desenvolvendo em fábricas inteligentes, devido a convergência entre o mundo real e virtual. Os objetos no mundo real, são munidos com tecnologias e habilidades fornecidas por Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS - *Cyber-Physical Systems*), como sensores e atuadores que permitem o monitoramento dos processos físicos em tempo real, criam uma

cópia virtual do mundo físico/real e tomam decisões descentralizadas. Estes objetos são integrados, se comunicam, trocam informações e cooperam entre si e com seres humanos em tempo real e em uma rede sem fio através da Internet das coisas (IoT – *Internet of Things*) e da Internet de Serviços (IoS – *Internet of Services*) [5,6].

A Indústria 4.0 é constituída por 4 pilares principais: Sistemas Físico-Cibernéticos, Internet das Coisas, Internet de Serviços e Fábricas Inteligentes [16] e portanto serão abordados com mais detalhes a seguir.

### **2.1.1 Sistemas Físico-Cibernéticos (CPSs)**

CPSs são sistemas de inteligência integrada, providos com capacidade de processamento, que os permite se “comunicar” entre si e produzir efeitos no mundo físico (real), quanto se interconectar com o mundo cibernético (virtual) em redes abertas [17], por meio de uma conexão e comunicação realizada através de redes digitais com ou sem fio [18].

Essa convergência é possível devido ao uso de sistemas embarcados com controle descentralizado e conectividade avançada que integram computação e processos físicos. Neste ambiente, sensores capturam dados do mundo físico, que são armazenados e avaliados em sistemas integrados, utilizados para orientar os atuadores a interagirem e atuarem no mundo físico [18]. Portanto pode-se considerar que um sistema CPS é complexo e colaborativo [12].

Esta dinâmica e interação não envolve apenas objetos, como também pessoas, que se comunicam por meio de interfaces homem-máquina [18], infraestruturas ou plataformas [19].

O suporte ideal pode ser fornecido aos operadores por dispositivos móveis, interfaces e sistemas de assistência sensíveis ao contexto e focados no usuário, por meio de diferentes tecnologias envolvendo tablets, óculos e relógios inteligentes, adaptados às condições industriais [7].

Estas habilidades e dispositivos tecnológicos permitem aos CPSs a coletar, reconhecer, avaliar e interpretar dados relevantes para o processo e utilizá-los para operar o ambiente de forma semi ou totalmente autônoma com sistemas, serviços e atores (pessoas e objetos) [18], e coletar e trocar informações em tempo real com o objetivo de identificar, localizar, rastrear, monitorar e otimizar os processos de produção [6,2]. O controle ativado por esse sistema pode ser descentralizado e realizado por máquinas, sistemas e serviços controlados por softwares e/ou por seres humanos e grupos sociais [18], considerando a interoperabilidade [20].

Sistemas descrevem um conjunto de elementos inter-relacionados com propriedades específicas, e uma rede de relacionamentos entre elementos é chamada de estrutura. Essa estrutura sempre seguirá os princípios e objetivos do sistema, portanto não é aleatória. Os elementos podem representar as menores unidades no sistema observado, mas também pode ser o próprio sistema. Em um sistema de fábrica, o menor elemento pode ser entendido como uma máquina, ou como o sistema em si [21].

Existem várias tecnologias adequadas para cada tipo de aplicação que podem fornecer um alto grau de processamento, comunicação, detecção, monitoramento, etc. [22].

Elas podem, por um lado, ser aplicadas para a obtenção de componentes totalmente inteligentes e autônomos capazes de executar o planejamento e as decisões de produção referentes a ele, devido a sua alta capacidade de processamento e computação [23], mas essa situação requer um alto investimento financeiro que pode inviabilizar sua aplicação [22].

Por outro lado, é possível incorporar tecnologias simples com baixo processamento nos objetos, que forneçam as capacidades necessárias para um cenário produtivo inteligente [22]. Nesse caso, uma possibilidade pode-se incorporar apenas uma tecnologia de identificação no produto (Ex: RFID, ou QR Code) que permita às máquinas identificarem o produto e agirem como o seu agente; ou seja, a máquina se comunica com o sistema para obter as informações básicas e necessárias para identificar os próximos processos

produtivos a serem executados naquele produto e, em seguida, a máquina planeja, negocia e aloca os recursos requeridos pelo componente. Depois que a máquina define os recursos, ela libera o componente para continuar o processo e sua atuação como agente é finalizada; portanto, o próximo agente do componente será a próxima máquina que o receber. Nesse cenário, os atores de tomada de decisão do componente são dinâmicos e variam ao longo do processo de produção [23].

No ambiente de manufatura, CPS é conhecido por Sistema de Produção Físico-Cibernético (CPPS) [17] e compõem uma Fábrica Inteligente [24]. O CPPS consiste em elementos e subsistemas autônomos e cooperativos, em todos os níveis de produção, incluindo produtos, máquinas, processos de manufatura a redes de logística [7], são equipados com sistemas embarcados e conectados em redes como a Internet [17,25] para a comunicação e interação em diferentes situações e apoiados com a análise de big data no mundo digital (como a nuvem) [7]. Eles são objetos físicos com uma representação virtual no ciberespaço, que reflete seus atributos físicos e comportamento e são impactados pelas informações e decisões realizadas no mundo virtual [25]

A influência no mundo físico e virtual, de cada CPS (ou CPPS), está de acordo com as funções, objetivos e requisitos das tarefas e aplicações atuais do sistema. A autonomia individual e coletiva dos atores do sistema e seus comportamentos e decisões são negociados e avaliados em conjunto por todas as partes envolvidas, que fazem parte da rede de comunicação e do processo produtivo em execução [18].

No entanto, o processo produtivo em uma Fábrica Inteligente por ser caracterizado por uma alta imprevisibilidade, e alta customização para os diferentes produtos e variantes de produtos, que poderão entrar no sistema de acordo com as solicitações dos clientes, aleatoriamente e com personalizações exclusivas [23].

Assim, a dinâmica do sistema muda em tempo real, de acordo com a identificação das necessidades de produção, dificultando a previsão com antecedência de quais recursos serão necessários para executar os processos

ou a ordem com a qual eles serão alocados [23]. Em vista disso, o ambiente de fabricação será composto por recursos capazes de atender e incluir requisitos individuais do cliente em todas as fases do ciclo de vida do produto, e incorporar alterações de última hora de um pedido do cliente, imediatamente antes ou mesmo durante a fabricação [6]. Ou seja, o sistema de produção deve ser ágil, autônomo e adaptável [26].

De acordo com Yusuf et al. [27] a agilidade é a exploração bem-sucedida de bases competitivas, como velocidade, flexibilidade, inovação, qualidade e lucratividade, através da integração de recursos reconfiguráveis e melhores práticas, para fornecer produtos e serviços orientados ao cliente em um ambiente de mercado em rápida mudança.

Uma abordagem que permite a agilidade dos processos operacionais é o controle autônomo, no qual os objetos e sistemas são capazes de tomar suas próprias decisões de forma descentralizada, resultando em um plano e controle mais rápido da situação quando comparados ao controle centralizado, que precisaria de mais tempo e processamento para analisar todos os dados, comunicar e aplicar as soluções para todos os envolvidos e lidar com a flutuação no número de objetos comunicando com o sistema em tempo real [26].

Enquanto a adaptabilidade descreve a configuração atual da fábrica, e a capacidade da mesma de lidar com diferentes configurações que mudam frequentemente. A configuração inclui as máquinas usadas disponíveis no sistema produtivo, a localização dessas máquinas e a correlação entre elas. Com esses dados, o planejamento da produção pode lidar com as diversas possibilidades de configurações de fábrica, idealmente em tempo real [28].

### **2.1.2 Internet das Coisas (IoT)**

A tecnologia IoT visa a aquisição e o monitoramento em tempo real das informações do objeto, alcançando uma percepção inteligente, reconhecimento, otimização e gerenciamento do ambiente, como em empresas, fábricas e chão de fábrica [8]. De forma que os processos de fabricação existentes, sejam mais

simples, mais visíveis, melhor conectados e controláveis [29]. Considerando isso, a IoT e os serviços relacionados podem permitir a criação de redes incorporadas com todo o ambiente de produção, convertendo fábricas em ambientes inteligentes [8].

A conexão dos objetos físicos à Internet na IoT, ocorre por meio de um sistema inteligente de comunicação usando o Protocolo de Internet (IP, do inglês *Internet Protocol*, que é um endereço exclusivo atribuído pelo Centro de Informações da Rede [30] que fornece uma identificação única para cada objeto [30]. Ele é legível, reconhecível, localizável, endereçável e controlável via Internet através de, por exemplo, RFID, Rede Local Sem Fios (abreviado WLAN do termo em inglês *Wireless Local Area Network*) ou Rede de longa distância (abreviado WAN do termo em inglês *Wide Área Network*) [30,31]. As tecnologias RFID e *Cloud Computing* são as duas tecnologias mais comumente aplicadas na IoT [32].

Por meio da Internet das Coisas, a comunicação máquina-máquina e homem-máquina expandiu, e causou um aumento no número de partes envolvidas (objetos, seres humanos e sistemas) conectadas na mesma rede ao mesmo tempo [33].

Para garantir a implementação das propriedades da IoT, com qualidade e segurança da comunicação e troca de dados entre todas as partes envolvidas, é necessário uma arquitetura aberta que inclua uma infraestrutura capaz de conectar todos os atores envolvidos [34], com protocolos de comunicação e de segurança, algoritmos e tecnologias abertas, escaláveis, seguras e padronizadas [33,35].

Devido ao recebimento em massa de dados de ambientes CPS, uma das propriedades essenciais da IoT é a necessidade de sincronização dos dados coletados para manter uma representação coerente, do ambiente, entre todas as partes envolvidas [34] e a disponibilidade para aplicação em tempo real, e no local requerido. Os dados devem ser precisos e apropriados para acesso em condições adequadas para interações humanas e estruturados semântica e sintaticamente para interações com máquinas [35].

Essa grande quantidade de dados coletados dos processos, máquinas e produtos pertencem ao Big Data e são caracterizadas pela alta velocidade, volume, e variedade [36]. Estes dados são armazenados na nuvem e requerem análises extensivas para transformar dados "brutos" em informações e conhecimento úteis, que levem a ações concretas que dão suporte a um processo de produção industrial adaptável e com auto otimização contínua [2].

### **2.1.3 Internet de Serviços (IoS)**

Por meio da IoT, o CPS se comunica e coopera entre si e com os seres humanos em tempo real. E através da Internet dos Serviços (IoS), serviços internos e organizacionais são oferecidos através da Internet, incorporando os participantes da cadeia de valor e todo o processo de produção [37].

Além desses serviços, as fábricas podem dar um passo adiante e oferecer tecnologias de produção especiais na IoS, em vez de apenas tipos de produção, que podem ser usadas para fabricar produtos ou compensar as capacidades de produção [38]. Este cenário permite transformar fábricas em ambientes inteligentes [37].

Neste sentido, pode-se considerar que o passo seguinte à IoT é a Internet dos Serviços, composta por participantes, uma infraestrutura de serviços, modelos de negócios e serviços de valor agregado, oferecidos e combinados por vários fornecedores, comunicados aos usuários e consumidores, e acessados por meio de diferentes canais de comunicação como a Internet [39].

Assim como, na IoT, no qual objetos se comunicam entre si e entre sistemas por meio da Internet, os serviços também o fazem a partir de recursos de computação em nuvem, essencial para integrar funções de armazenamento e computação à rede, de forma a se conectarem uns com os outros e diretamente com seus mercados [40].

Com o aumento do número de dispositivos conectados e se comunicando, é muito importante fornecer recursos de rede presentes em todos os lugares, para

apoiar qualquer serviço considerando tanto a perspectiva vertical quanto horizontal [40].

Estas características também são empregadas na indústria de manufatura, e podem ser aplicados para fabricar produtos ou compensar as capacidades de produção, como realizado no projeto SMART FACE, que desenvolveu um novo controle de produção distribuído para a indústria automotiva. O projeto é baseado em uma arquitetura orientada a serviços, no qual estações de montagem e veículos guiados automaticamente oferecem seus serviços por meio da IoS. Esta abordagem permite que estes objetos componham individualmente os processos necessários através da IoS e naveguem autonomamente pela produção [16].

#### **2.1.4 Fábrica Inteligente**

A Ind. 4.0 está focada na criação de produtos, procedimentos e processos inteligentes. Fábricas inteligentes constituem um recurso essencial deste cenário [14]. O objetivo da Fábrica Inteligente é a produção de Produtos Inteligentes com o uso de Recursos Inteligentes [17], ou seja, seres humanos, máquinas e recursos inteligentes se comunicam e participam de um ambiente colaborativo, para a produção de produtos inteligentes, conectados diretamente entre si. Isto inclui produtos e partes de produtos que se comunicam com robôs de montagem, empilhadeiras e AGVS autônomos, e máquinas inteligentes que coordenam os processos de produção em execução independente. Na Indústria 4.0, pessoas, máquinas e produtos estão conectados diretamente entre si [7,41].

Elas são organizados a partir de uma produção com mais eficiência, descentralizada e de tomadas de decisão inteligente de forma totalmente integrada e colaborativa [17], essenciais para dar suporte às demandas personalizadas e de pequenos lotes [14].

Neste ambiente, novas tecnologias de CPPSs são empregadas para integrar máquinas e humanos, conectados à Internet (IoT) em cadeias de valor geograficamente distribuídas e dispersas, para fornecer soluções de

monitoramento, controle e otimização da produção, além de produtos e/ou serviços de forma autônoma, que atendam às demandas de mercado e satisfaçam as expectativas dos clientes por meio do gerenciamento integrado de seus processos de negócio. Desse modo, objetivos globais do sistema produtivo são cumpridos, e serviços específicos com certo grau de autonomia e com comunicação baseada na Internet são fornecidos [41].

A inteligência na Indústria 4.0 é revelada através da cooperação em rede de um dispositivo com outros dispositivos inteligentes, capazes de verificar atualizações de sistema, acessar informações detalhadas dos produtos, processos, clientes e fornecedores e analisar resultados que apoiam a tomada de decisão. Essa rede é chamada de rede inteligente [7].

A estrutura de uma fábrica inteligente pode ser observada na Figura 1. A principal característica deste cenário é a comunicação e interação entre o ambiente real e virtual em um Sistema Reconfigurável de Manufatura (SRM) [2].

A capacidade de reconfiguração do SRM assegura características de agilidade, eficiência e flexibilidade para atender mudanças de tipo/quantidade de produtos, processos de produção e de negócios, ambiente operacional, necessidades do cliente e recursos disponíveis. Com o objetivo de responder a reconfiguração da planta em funcionalidade e capacidade de produção adaptando-se às mudanças de mercado, produto e recurso e reagir a tempo em ocorrências de falhas. Como por exemplo, quando ocorre um evento inesperado ou uma falha, e uma reconfiguração do sistema é necessária, os componentes que compõem esse sistema devem interagir considerando os diferentes sistemas operacionais e tecnologias disponíveis [41]. Sendo assim, o Sistema Reconfigurável de Manufatura está próximo da Indústria 4.0, no entanto ainda há várias melhorias para alcançar o nível de inteligência requerido pela Ind. 4.0 [10].

Estes componente são entendidos como máquinas e produtos, que devem ser autônomo, com conhecimento, inteligência e habilidade necessárias para interagir uns com os outros (M2M) e com humanos (M2H) e atingir o objetivo global do sistema em conjunto [41].

# Indústria 4.0



Figura 1: Fábrica Inteligente na Indústria 4.0 (adaptado de [2])

Logo, as máquinas pertencem a CPPS capazes de tomar suas próprias decisões com base em algoritmos de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) e captura de dados em tempo real, resultados de análises e comportamentos passados bem-sucedidos, registrados em um sistema de armazenamento. Podem ser usadas máquinas programáveis (CNC e NC), assim como vários agentes e robôs móveis e autônomos capazes de auto organização e auto otimização [2]. Outra tecnologia de fabricação promissora é a manufatura aditiva capaz de facilitar e apoiar a concepção do produto e acelerar o processo de inserção do mesmo no mercado [3].

As máquinas inteligentes concentram-se no seu desempenho e aplicações, e buscam prever falhas, detectar problemas de qualidade e principalmente realizar manutenção preditiva (PM). A PM é essencial na Ind. 4.0, e são possíveis através da coleta e análise de um grande volume de dados relevantes sobre a máquina,

obtido por meio de sensores. É por meio da PM que falhas são previstas com antecedência suficiente para tomar as ações apropriadas, como manutenção, substituição ou até um desligamento planejado, causando menores gastos financeiros com manutenção, máquina parada, e qualidade de produto, e maior produtividade [42].

Além dos recursos, é necessário que o ambiente também seja provido com capacidade de comunicação e colaboração Homem-Máquina (H2M) principalmente em tarefas e atividades de difícil automatização total ou mesmo ergonomicamente desfavoráveis. Robôs colaborativos representam um grupo de tecnologias projetados para que haja trabalho colaborativo entre humanos e robôs, em tarefas de trabalho complexas na linha de produção, contando com interfaces avançadas para o usuário, desenvolvidas como uma forma de comunicação H2M, e que podem incluir elementos de realidade aumentada (AR) [5].

Os produtos dessa fábrica também são inteligentes, providos com recursos de controle e processamento. Eles podem organizar seus processos de fabricação, controlar seu caminho logístico através da produção, controlar / otimizar seu fluxo de trabalho em toda a fábrica [7], identificar sua localização, status de produção e as condições do ambiente, além de conhecerem os detalhes de como foram fabricados e como devem ser utilizados [2]. Este comportamento ocorre de maneira descentralizada e por meio da troca de dados com outros CPSs em tempo real [7]. Líquidos também podem ser produtos inteligentes, apesar de não ser possível colocar uma identificação no líquido, esta identificação pode ser acoplada com o container, que se torna inteligente e pode se comunicar pelo líquido dentro dele [43].

Devido ao ambiente inteligente ser provido com recursos, produtos e processos inteligentes, ele é composto por um alto nível de interações e troca de informações entre todos os componentes que participam do ciclo de vida de um produto [44], que devem estar inter-relacionados entre si para que a produção seja executada. Do ponto de vista da Ind. 4.0, a prioridade é obter a melhor abordagem de produção, com otimização apropriada, processo produtivo ideal e

as máquinas e instalações mais adequada sejam selecionados e interconectados dinamicamente com vínculos de dados [45].

Para que as informações e dados trocados sejam compreensíveis por todos (M2M e H2M), é necessária interoperabilidade, que conta com o uso de uma linguagem com semântica padronizada, regras de comunicação, compreensão comum do significado dos termos e modelos de interação. Os quais ainda não estão completamente definidos e padronizados digital e mundialmente [44].

Além do ambiente físico, a fábrica inteligente também possui uma representação virtual, no qual cada componente possui uma identificação única, capaz de refletir seus atributos e comportamentos [25], com base em vários dados e informações obtidos ao longo do ciclo de vida deste componente. Exemplos dessas informações são documentos de requisitos, modelos 3D, dados de status de produção, histórico logístico e dados de medição, teste e qualidade [2].

Esta habilidade conta com o auxílio de soluções baseadas em nuvem, de tecnologias que suportam a análise de grandes volumes de dados como o Big Data Analytics, além de grandes avanços em tecnologia, incluindo Inteligência Artificial (IA), robôs autônomos, simulação, IoT Industrial (IIoT), Segurança Cibernética, Manufatura Aditiva e Realidade Aumentada (RA) [7].

As aplicações de Big Data são implementadas paralelamente aos sistemas de informação, como os *softwares* ERP e MES [3], os quais são essenciais para o funcionamento e gerenciamento da fábrica inteligente [2] e devem ser totalmente integrados vertical e horizontalmente em uma plataforma comum [3], com dados facilmente identificáveis, consolidados, limpos e padronizados [46].

Por meio da integração completa dos sistemas, é evitado o armazenamento redundante e disperso dos metadados, que são dados descritivos e estruturados de um documento, físico ou digital, que auxiliam na descrição, identificação, gerenciamento, localização, compreensão e preservação de documentos digitais, e são essenciais para a comunicação entre computadores [84]. Essa integração garante que as informações residam em um sistema principal, acessível para todos os usuários da cadeia de valor de forma compartilhada,

mas respeitando as restrições de acesso aos usuários. Portanto as diferentes áreas da empresa, como desenvolvimento, produção e marketing passam a ter acesso ao mesmo conjunto de dados integrados, vinculados e atualizados [3].

Com este sistema, informações do pedido do cliente sempre estão vinculadas ao produto, incluindo instruções de trabalho, processo de fabricação e montagem e informações do cliente, ou seja, estão vinculadas desde os sistemas de produção e planejamento até o nível da máquina e do chão de fábrica, onde após a conclusão de um trabalho, as máquinas enviam automaticamente um relatório de status do pedido [3].

Dentre os vários sistemas de informação utilizados na fábrica, as ferramentas ERP e MES representam o software básico para as empresas. O ERP, no nível de negócios, é capaz de suportar o planejamento em toda a empresa (Ex: planejamento de negócios, vendas, contabilidade, e recursos humanos), e o MES, no nível de automação, abrange aspectos de gerenciamento de chão de fábrica (Ex: relatórios de produção, programação, rastreamento de produtos, operações de manutenção, análise de desempenho e alocação de recursos) [2]. Um software que tem sido cada vez mais requerido na Ind. 4.0 é o MOM, um sistema de Gerenciamento de Operações de Manufatura (MOM - *Manufacturing Operations Management*), para obter monitoramento do fluxo de valor ao longo de todo o ciclo de vida do produto, disponibilizar as informações relevantes em tempo real e otimizar fluxos de valor [47].

Tanto o ERP quanto o MES possuem atuação centralizada e capacidade limitada para adaptação dinâmica do plano de produção, no entanto, quando são implementados com uma infraestrutura avançada de TI no nível da fábrica, que conta com Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, ou abreviadamente SCADA (em inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*), e controladores no nível da máquina / dispositivo (como Controladores Lógicos Programáveis (PLCs)), eles fornecem as condições necessárias para uma fábrica inteligente [2].

## 2.2 Modelo de arquitetura e dados

Para que a Indústria 4.0 possa ser implementada em nível internacional, em condições de concorrência leal e para que as pequenas e médias empresas (PME) também estejam em posição de contribuir com soluções próprias, é necessário o desenvolvimento de um modelo de referência que considere o uso de dados de maneira integrativa entre os diferentes níveis hierárquicos das empresas, e elementos constituintes das mesmas. Esse modelo deve garantir a interoperabilidade de componentes de TI e aplicativos de software da Indústria 4.0 [44].

Um modelo de referência descreve um aspecto importante de uma área de aplicação específica, levando em consideração as condições organizacionais e tecnológicas e visualizando o sistema a ser modelado de uma perspectiva específica, de acordo com um grupo de especialistas. O modelo de referência forma o ponto de partida para as ferramentas baseadas nele [44].

Um modelo de referência para uma classe de arquiteturas, pode ser representado por uma arquitetura de referência. Ela representa um modelo ideal sobre um determinado domínio [44] e fornece uma estrutura comum com alta abstração e poucos detalhes dos casos específicos. Portanto ela permite a identificação e compreensão dos problemas e padrões mais importantes, de forma abrangente, para diferentes situações e casos de uso [48].

Considerando o cenário da Ind. 4.0, um modelo de referência deve considerar a integração horizontal das corporações em toda a cadeia de valor e a integração vertical dos meios de produção da fábrica, que formam a base para a integração digital de ponta a ponta do processo de engenharia ao longo de toda a cadeia de valor e de todos os estágios do ciclo de vida. Considerando, ao mesmo tempo, o mundo conectado e digitalizado trocando dados e informações em tempo real para aplicação de diferentes situações [14].

O uso de uma arquitetura de referência baseada em normas e padrões estabelecidos, para a implementação de aplicativos da Indústria 4.0, garante a interoperabilidade entre sistemas, mesmo que sejam desenvolvidos com base

em abordagens diferentes e geograficamente distribuído. Isso permite a integração horizontal e vertical das fábricas inteligentes e o desenvolvimento de soluções escaláveis [43].

Atualmente existem diversos modelos de referência desenvolvidos para a Ind. 4.0, como por exemplo o modelo norte-americano IIRA (*Industrial Internet Reference Architecture* – Arquitetura de Referência de Internet Industrial) [48] e o modelo alemão RAMI 4.0 (*Reference Architecture Model Industrie 4.0* – Modelo de Arquitetura de Referência *Industrie 4.0*) [5].

O IIRA é uma arquitetura aberta baseada em padrões para sistemas de IIoT e suporta amplas aplicações no setor industrial. Ele impulsiona a interoperabilidade, mapeia as tecnologias aplicáveis e orienta a tecnologia e o desenvolvimento de padrões [48]. Ele usa uma abordagem multidimensional com base em quatro níveis individuais, que tem como base o ponto de vista das partes interessada, incluindo tópicos de negócios, uso, considerações funcionais, e implementação final. Cada ponto de vista é detalhado em outros níveis e domínios, considerando características como interoperabilidade, segurança e aprendizado de máquina [15].

Já o RAMI 4.0 foi desenvolvido com base em normas do setor produtivo (mais informações em [49]) e estabelece os requisitos mínimos para a descrição precisa de sistemas físicos em sistema virtuais, responsável por gerar um reflexo do ambiente físico no digital e impactar diretamente na padronização e estruturação de dados [44].

São vários os desafios e questões que modelos de arquitetura devem responder, como: quais soluções técnicas facilitam o desenvolvimento das empresas em direção à Ind. 4.0, como as diversas tecnologia interagem e como implementar o Indústria 4.0 com mais eficiência [15]. Para responder essas e outras questões, diversos trabalhos na literatura utilizam o RAMI para nortear seus projetos.

Wang et al. (2018) [15] propõe uma abordagem interativa para apoiar as empresas na implementação da Ind. 4.0 com base no RAMI 4.0. O objetivo foi

fornecer uma visão abrangente das categorias de tecnologias e relações desse ambiente que possa ser utilizada para a implementação da Indústria 4.0.

Pisching (2018) [9] apresenta uma arquitetura para a descoberta e seleção de equipamentos, organizados em uma rede hierárquica (RHE), com capacidade de processar operações conforme os requisitos dos produtos. Nessa arquitetura, as informações dos equipamentos são armazenadas de forma a auxiliar a troca de serviços. Neste ambiente, os produtos possuem informações das operações necessárias para o processo de manufatura.

O trabalho se baseia nas camadas do RAMI 4.0, e envolve um conjunto de componentes e serviços que permitem a troca de informações entre equipamentos e produtos. O equipamento identifica suas propriedades e restrições para processar uma operação, requisitada pelo produto, podendo rejeitar o pedido do mesmo. Neste caso, o equipamento é capaz de encaminhar o produto para outro equipamento da rede. Nessa arquitetura assume-se que por meio da RHE, o equipamento tem informações de si próprio e também de outros (exemplo: parceiros além dos limites da fábrica) [9].

Uma abordagem reconhecida na literatura devido a sua adequação na manufatura, são os estudos sobre MAS (Sistemas Multiagentes) com CPS, para o desenvolvimento da próxima geração de sistemas industriais [32].

Um estudo realizado por Contreras et al. (2017) [43] expõe as características essenciais que permitem a adaptação de um sistema de manufatura tradicional para um sistema 4.0. Especificamente, para o desenvolvimento da arquitetura proposta, são utilizadas teorias e modelos de MAS e SHM (Sistema Holônico de Manufatura), e protocolos específicos, seguindo as especificações do RAMI 4.0, incluindo protocolos OPC-UA (protocolo de comunicação M2M) para a implementação da camada de comunicação, IDE para a camada de informação e funcional e AutomationML para a engenharia de ponta a ponta.

A arquitetura proposta permite a execução de manufatura orientada a produtos para a Indústria 4.0, nela foram determinados os elementos essenciais necessários à arquitetura, definidas as relações entre os elementos e,

apresentado um modelo da arquitetura baseada em serviços para as interações entre esses elementos, que respeite a comunicação entre camadas adjacentes, de comunicação, informação e funcional do RAMI 4.0 para alcançar interoperabilidade entre vários componentes da Ind. 4.0 [43].

Há muitos outros estudos que se referenciam ao RAMI 4.0 para o planejamento de um ambiente inteligente, considerando diferentes setores e áreas, incluindo aquelas essenciais para este trabalho. Devido a sua importância, o RAMI 4.0 será utilizado como base para este estudo, e, portanto, será apresentado com maiores detalhes a seguir.

### **2.2.1 RAMI 4.0**

A proposta do RAMI 4.0 é nortear as organizações no processo de transição para a Ind. 4.0 e na implementação das tecnologias disponíveis, considerando as necessidades, objetivos específicos e os recursos disponíveis que cada empresa possui individualmente [49]. Os recursos representam recursos físicos e tangíveis, incluindo recursos humanos, maquinário, equipamentos, ferramentas, materiais e produto final [3].

O RAMI 4.0 permite discussões embasadas sobre requisitos mínimos para implementação de cenários e características da Indústria 4.0, por meio da identificação e mapeamento de todos os aspectos da Ind. 4.0. As abordagens tratadas no modelo incluem a identificação e classificação de objetos, descrição de propriedades e parâmetros de produtos, estruturação da comunicação e das interações entre os diversos recursos do mundo real e formatação de dados [44].

É importante destacar que os objetos físicos descritos no mundo virtual são objetos de valor que impactam no sistema industrial. Estes objetos são tratados como recursos do sistema, e são representados pela nomenclatura de componentes inteligentes da Indústria 4.0 (C 4.0) [44].

O RAMI 4.0 representa a base para o desenvolvimento de projetos referentes à Ind. 4.0 e é focado na definição de regras para a implementação de aplicações

tendo em vista um cenário global [43]. A sua representação ocorre em três eixos dimensionais, o que permite as empresas utilizarem o modelo de forma flexível e individualizada, de acordo com os requisitos, funcionalidades e características de cada situação, sendo que as opções possíveis estão de acordo com a necessidade do usuário. Neste contexto, o modelo permite a migração passo a passo do mundo de hoje para a Ind. 4.0, e a definição de domínios de aplicação e requisitos [44,5].

No entanto, por se tratar de um modelo de referência, o RAMI 4.0 é muito abstrato, ou seja, apesar de trazer referências e modelos padronizados para que sejam seguidos, não há detalhamento das formas e detalhes de implementação de um sistema inteligente específicos a um ambiente único, e não esclarece os detalhes sobre a comunicação e interação entre equipamentos e produtos para guiá-los e orientá-los ao longo do processo produtivo de acordo com os passos de produção exigidos [9].

Portando o uso prático e direto do RAMI 4.0 ainda é inviável para grande parte das empresas, incluindo as PMEs, e é orientado principalmente para que as instituições de pesquisa e casos de uso individuais, possam utilizá-lo como base de conhecimento para aplicações [15].

O RAMI 4.0 é representado graficamente por três eixos, que se apoiam nos padrões internacionais IEC 62890 (gestão do ciclo de vida do produto), IEC 62264 (integração de sistemas de controle da empresa) e IEC 61512 (controle de lotes em processos industriais). O modelo pode ser observado na Figura 2.

O eixo horizontal **Níveis Hierárquicos**, representa a alocação de funções e responsabilidades dos C 4.0 dentro das fábricas e instalações fabris considerando uma hierarquia funcional do sistema [5], ou seja, representa a atribuição do componente a algo ou alguém específico [44].

Os níveis hierárquicos consideram desde os produtos fabricados, até o mundo conectado, ou seja, todos clientes, fornecedores e envolvidos com a fábrica [5] e são distinguidos em sete níveis. O nível mais baixo, Produto, inclui produtos que devido a suas habilidades de comunicação são elementos ativos no sistema

de produção, fornecendo informações sobre suas propriedades e etapas de produção. O nível seguinte, Dispositivo de Campo, inclui sensores e atuadores inteligentes, que se comunicam com o nível acima, dispositivos de controle (controladores embarcados). No nível de Estação, encontram-se máquinas de produção, robôs e veículos de logística inteligentes. Enquanto os Centros de Trabalho são compostos pelas plantas de produção e departamentos dentro de uma empresa. O nível Corporação representa a empresa como um todo, e é seguido do último nível, Mundo Conectado, que representa suas redes de colaboração externas, incluindo parceiros de negócio, entre eles fornecedores e clientes finais [15].

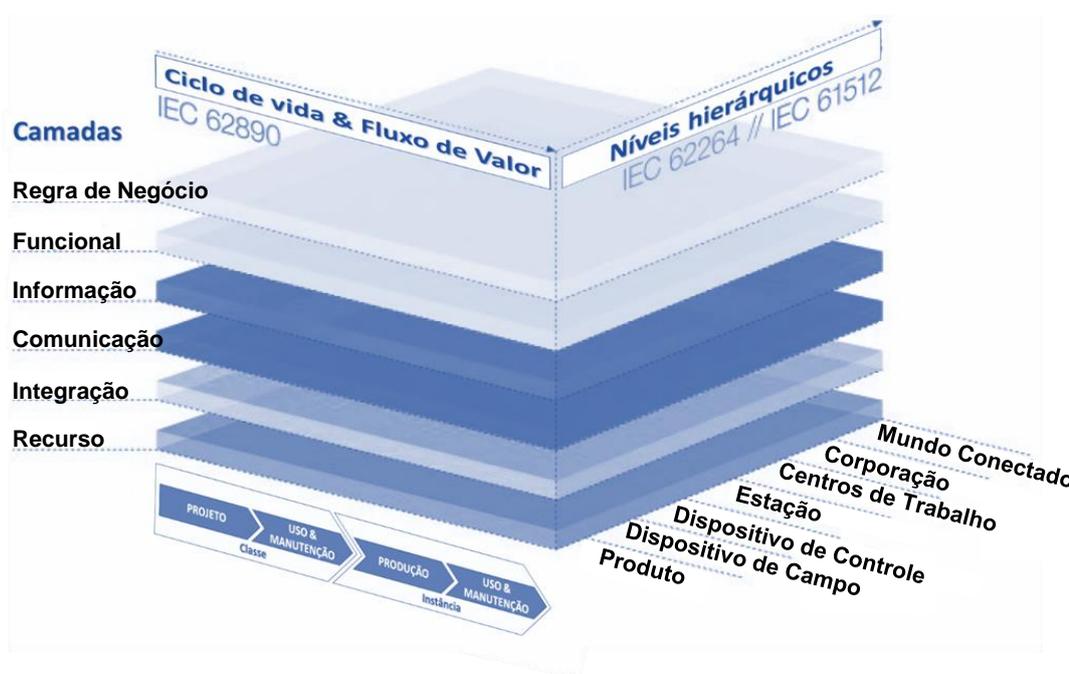


Figura 2: Modelo de Referência para Arquitetura da Indústria 4.0 (RAMI 4.0)  
(adaptado de [5])

Cada componente da Ind. 4.0 consiste em seis camadas, que são representadas pelo eixo vertical (**Camadas**). Este eixo descreve funções técnicas específicas e propriedades especiais de cada C 4.0, e permite identificar o objetivo dos componentes usados no sistema [44]. Nesta descrição, as informações são estruturadas e disponíveis para a geração de uma representação virtual do componente. As camadas representam diferentes perspectivas do sistema como modelo de regras de negócio, modelo de comunicação, descrição de regras e

lógicas de tomada de decisão e mapa de dados de cada C 4.0, e os eventos que ocorrem no ambiente inteligente só podem ser trocados entre duas camadas adjacentes e dentro de cada camada [5].

As camadas do modelo de referência são seis. A primeira, Recurso, é uma representação da realidade física. Ela inclui todos os recursos e componentes físicos da empresa, como máquinas, sensores, atuadores, documentações e seres humanos, e também abrange objetos abstratos, como ideias, modelos e patentes que resultam das interações entre os recursos [15]. Os ativos estão conectados ao mundo da realidade virtual pela camada seguinte de integração e essa conexão pode ser passiva e ocorrer por meio códigos QR [7].

A camada Integração fornece informações sobre ativos físicos em um formato processável por computador. Ela executa o controle do processo por computador, gera eventos para as camadas superiores a partir dos ativos e contém elementos conectados à TI, como por exemplo, leitores RFID, sensores e atuadores. A integração de pessoas também faz parte da função desta camada [7,15], neste ambiente, Interfaces Homem-Máquina (IHMs) aprimoram a colaboração M2H e utiliza atributos humanos como criatividade e flexibilidade, em colaboração com a precisão das máquinas [15].

Os serviços para controlar a camada de Integração são fornecidos pela camada de Comunicação [9], responsável por padronizar e habilitar a comunicação entre diferentes sistemas, e transmitir dados e documentos baseado em protocolos de comunicação e formato de dados uniformes das camadas mais baixas para as camadas superiores. Esta camada também é responsável por fornecer serviços [7,15], e sinalizar os eventos mais relevantes para a Camada de Informação [5].

A camada de Informação contém todos os dados relevantes [5] e permite a descrição formal das regras e o pré-processamento de eventos. Dentre as funções dessa camada, inclui-se verificação dos dados da camada anterior; garantia da integridade, integração e obtenção de dados; informações e conhecimento com maior valor agregado e qualidade [7]; e fornecimento de dados estruturados para as camadas superiores por meio de interfaces de serviço [7,15]. Esta camada é a fonte de dados para o controle do Recurso [9].

A camada Funcional consiste do ambiente de execução dos serviços e aplicações, sendo, portanto, a plataforma de integração horizontal das diferentes funções, onde Regras e lógicas de tomada de decisão e aplicação são criadas e descritas [15]. O acesso remoto e a integração horizontal podem ocorrer apenas na camada Funcional, devido à necessidade de integridade dos dados [7] e é onde geralmente fica sistemas como o ERP [5]. Ela também é um ambiente para execução dos serviços com suporte à Regra de Negócio [9].

A última camada, de Negócio, representa os modelos de negócio e a lógica de processo resultante, fornecendo também estruturas legais e regulatórias que assegurem a integridade das funções ao longo da cadeia de valor [15]. Essa camada garante a integridade das funções no fluxo de valor, permitindo o mapeamento dos modelos e processos de negócios e do processo geral. Ele segue as condições da estrutura legal e regulamentar e permite a modelagem das regras que o sistema deve seguir. Ele também cria um link entre diferentes processos de negócios [7].

A última dimensão do RAMI 4.0 representa o **fluxo de valor por meio do ciclo de vida do produto** [15]. Durante as fases do ciclo de vida do componente (seja ele um produto, uma máquina ou a própria fábrica) uma grande quantidade de dados e informações são geradas, devendo ser disponibilizados e integrados ao longo da cadeia de valor entre as diferentes fases e parceiros de negócio (como fornecedores e clientes) [5]. O rastreamento e armazenamento das informações geradas em todas as fases do ciclo vida do respectivo componente, torna possível um registro completo dele, que pode ser mantido durante toda a sua vida útil e incluirá parâmetros como hora, local e estados [44]. Stark e Demerau se aprofundam com mais detalhes sobre esta dimensão em [50].

No contexto do RAMI 4.0, o ciclo de vida de qualquer componente é dividido em duas partes: Classe e Instância [15].

A Classe engloba um conjunto de objetos similares e suas respectivas características; sendo a representação do produto e criada a partir de um esboço que define a estrutura e o comportamento de um objeto durante seu ciclo de vida. Uma classe abrange o processo de desenvolvimento do produto, a fase de

teste, a construção do protótipo de produção, até a etapa de validação e liberação do produto para produção.

Um objeto Classe se torna um objeto Instância quando for instalado em um sistema específico, sendo assim a Instância se refere a todo produto fabricado, que possui por exemplo um número de série exclusivo (ou uma identificação única), que permite a sua rastreabilidade e monitoramento e é vendida e entregue aos clientes. Portanto engloba a fase de fabricação e uso.

A alteração da Classe para a Instância pode ser repetida várias vezes [7], por exemplo: na manutenção e uso se referem aos ciclos de retroalimentação provenientes da fase de vendas, quando o produto (Instância) volta a ser Classe e informações sobre ele podem ser obtidas e reportadas ao fabricante, implicando em mudanças para ciclos futuros [15].

Portanto, o ciclo de vida é relevante para a operação e funcionamento da fábrica na Ind. 4.0, considerando várias dimensões e funções deste cenário. Ele engloba o ciclo de vida de [5]:

- Produtos, sendo que uma fábrica produz vários produtos;
- Pedidos, no qual cada pedido de fabricação passa por um ciclo de vida e suas especificidades necessariamente têm um impacto nas instalações de produção durante a execução do pedido;
- Máquinas, pois uma fábrica integra sistemas de produção e máquinas de vários fabricantes, logo uma máquina é encomendada, projetada, comissionada, operada, reparada, convertida e reciclada.
- Fábrica que também tem um ciclo de vida, a qual é financiada, planejada, construída e reciclada.

A digitalização e a vinculação do fluxo de valor na Indústria 4.0, têm um enorme potencial para aplicações de melhorias nos produtos e processos. Nela, os vários departamentos e atores do fluxo de valor, incluindo compras, planejamento de pedidos, montagem, logística, manutenção, clientes e fornecedores, estão

integrados de tal modo que os dados e informações são disponibilizados em tempo real ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Portanto, o ciclo de vida pode ser visto juntamente com os processos de agregação de valor que ele contém: dados logísticos podem ser usados na montagem; os departamentos de compras visualizam os níveis de estoques e rastreiam seus pedidos (nos fornecedores) em tempo real e os clientes veem o status de conclusão do produto durante a produção [7].

O processo produtivo é apoiado por várias tecnologias, que são relevantes para o ciclo de vida do produto. A Figura 3 apresenta uma visão global da abordagem para mapear tecnologias no RAMI 4.0 durante a etapa de instância da produção.

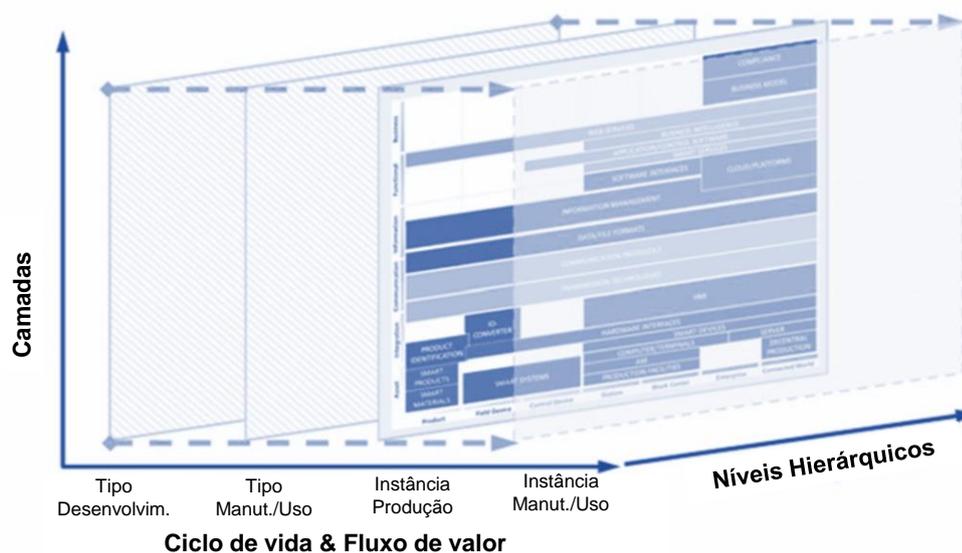


Figura 3: Mapeamento de tecnologias no RAMI 4.0 (adaptado de [15])

O panorama geral destas tecnologias pode ser observado com mais detalhes na Figura 4. As tecnologias são atribuídas com base em sua área de uso com foco para os níveis hierárquicos do RAMI 4.0, dentro dos limites das opções de caso de uso de aplicação.

Embora algumas tecnologias sejam atribuídas para uma camada específica, como sensores, atuadores, o computador e os terminais para controlar as instalações de produção ou para fins de engenharia ou administrativos sejam designados especialmente ao nível do recurso. Outras tecnologias podem ser

expandidas para mais de uma aplicação, como os servidores que podem igualmente ser usados no nível corporativo ou, se fornecidos por parceiros externos, no nível mundial conectado [15].

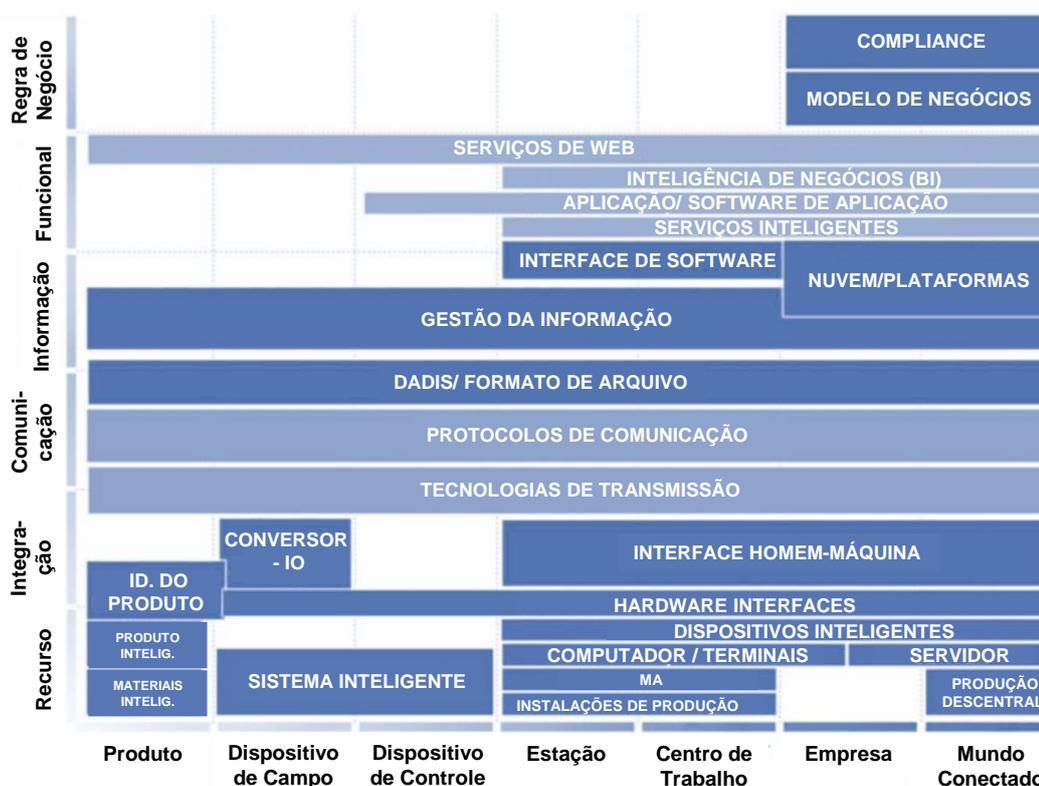


Figura 4: Tecnologias no RAMI 4.0 na Instância Produção (adaptado de [15])

De modo a apoiar a introdução de soluções da Ind. 4.0 nas PME, qualquer conceito precisa atender três critérios básicos para permitir um uso flexível e eficaz na prática [15].

O primeiro implica que toda tecnologia relevante no contexto da Indústria 4.0 deve ser considerada e apresentada de maneira estruturada, sob um ponto de vista genético, para permitir maior flexibilidade para o uso em casos específicos. O segundo representa que o conceito geral e a seleção de tecnologias, devem ser implementados dinamicamente, de acordo com às circunstâncias individuais e específicas das empresas. E o terceiro apresenta que qualquer conceito referente à Ind. 4.0 deve cobrir aspectos de segurança ou fornecer uma base para alterações subsequentes.

### 2.2.2 Componente 4.0

A fábrica inteligente é composta por vários objetos que interagem entre si para cumprir os objetivos de fabricação. Estes objetos podem ser separados em várias classificações que os dividem entre um objeto desconhecido até um componente da Indústria 4.0 caracterizado com inteligência.

Não é necessário que todo objeto na produção, se torne um produto inteligente, peças pequenas demais para serem identificadas e rastreadas individualmente e com baixo valor agregado [22] como parafusos e porcas, não precisa de funcionalidades para troca de dados [51], não são estratégicas para gerenciamento e manutenção, não necessitam ter seus dados atualizados ao longo de todo o seu ciclo de vida, e nem é um ativo importante para a produção. Nessa situação, uma simples identificação única pode ser criada para representar um lote inteiro das partes [22].

Na Indústria 4.0, apenas objetos de valor são considerados e designados como produtos inteligentes independentemente de sua forma de aparência [28].

Esse objeto, componente ou produto inteligente é chamado de recurso (de acordo com a norma DIN SPEC 91345 [52]) e está localizado nas camadas do RAMI 4.0, podendo adotar várias posições no ciclo de vida e no fluxo de valor e paralelamente ocupar vários níveis hierárquicos [5].

Para que um recurso na Ind. 4.0 seja considerado um componente da Indústria 4.0 (C 4.0) ele deve cumprir requisitos específicos e deve ter suas propriedades descritas [53]. Este componente da Ind. 4.0 constitui um caso específico de um CPS [5] e pode ser um sistema de produção, uma máquina, uma estação individual ou uma parte de uma máquina, podendo ser construído até mesmo com base em entidades materiais ou a partir de entidades imateriais, ou seja elementos que estão ainda na fase de concepção [9].

De acordo com o VDI / VDE-GMA TC 7.21 o termo componente no contexto da Ind. 4.0 designa um objeto no mundo físico ou no mundo da informação que

desempenha uma função específica em seu ambiente ou se destina a essa função [5].

Há três requisitos principais que devem ser cumpridos para a obtenção de um C 4.0 [5]:

1. A rede de C 4.0 deve possuir uma estrutura que permita conexões entre quaisquer componentes da Ind. 4.0 e o seu conteúdo deve seguir um modelo semântico comum;
2. O conceito do C 4.0 deve atender aos requisitos em diferentes áreas, tanto do ponto de vista de negócios quanto de produção;
3. Os dados da representação virtual de um C 4.0 pode ser mantido no próprio objeto ou em um sistema de informação e disponibilizado para comunicação do componente quando necessário.

Sendo assim, cada C 4.0, por mais diferente que seja, se move ao longo do ciclo de vida da fábrica e em contato com sistemas como o PLM (Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto), ERP (*Enterprise Resource Planning*) e Sistemas de Controle e Logística Industrial [5].

A Figura 5 apresenta as características necessárias que um recurso deve possuir para que ele seja considerado um C 4.0 e seja capaz de participar da rede de comunicação da Ind. 4.0, recebendo e oferecendo serviços. Essas características são apresentadas como estágios de classificação dependentes e sua avaliação ocorre de baixo para cima. As casas circuladas na figura representam as características que o recurso deve cumprir para que seja considerado um C 4.0 [5].

A primeira etapa é a definição do recurso como uma entidade, que permite a vinculação de dados e funções do objeto dentro de um sistema de informação. Essas entidades podem ser software, ideias, arquivos, ou mesmos conceitos. As outras três possibilidades, além de entidade, que um recurso pode ser são “conhecido individualmente”, “não conhecido” ou “conhecido anônimo”, mas que não caracterizam um C 4.0.

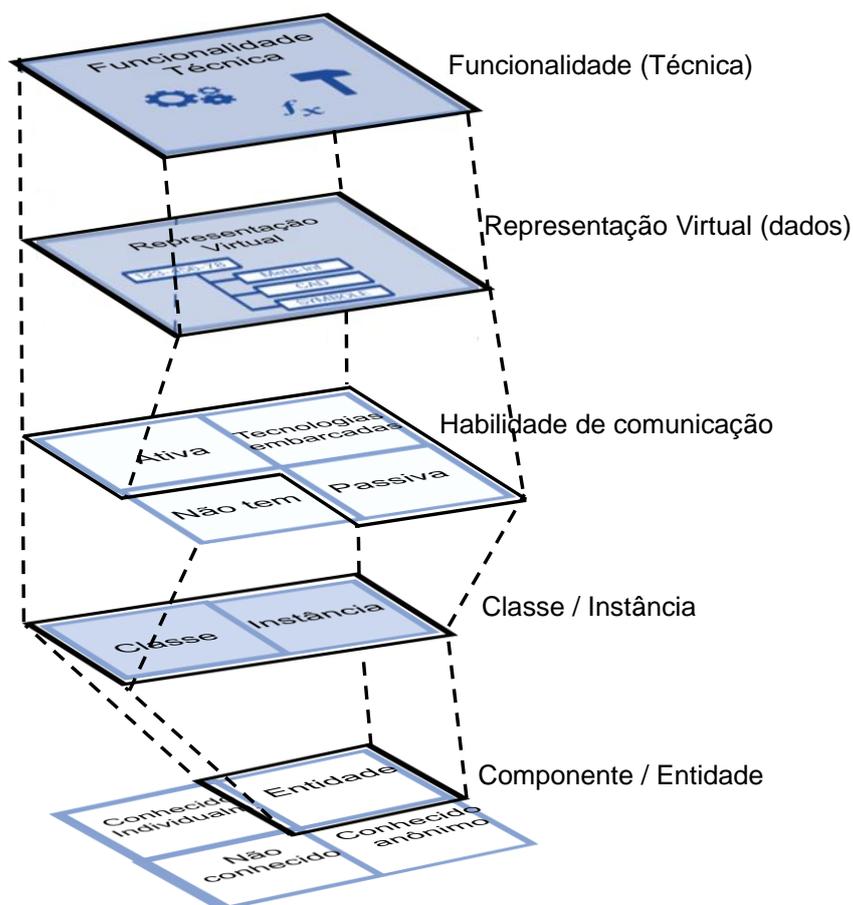


Figura 5: Componente da Indústria 4.0 (adaptado de [5])

Esta entidade pode ser uma classe ou uma instância, sendo que um produto durante a etapa de planejamento é uma classe e uma máquina existente e funcionando dentro da linha é uma instância. E esta diferenciação ocorre na segunda etapa de classificação.

A terceira etapa é a habilidade de comunicação. Para fazer as propriedades do objeto disponíveis para uso e troca de informações, é necessária, no mínimo, uma conexão do objeto com o sistema de informação [7], logo recursos sem qualquer habilidade de comunicação não podem ser considerados C 4.0.

O recurso deve ter pelo menos habilidade de comunicação ativa (comunicação própria, baseado em CPS) ou passiva (sem comunicação própria e depende do intermédio de um sistema de TI para se interconectarem a um sistema de manufatura, são recursos com códigos bidimensionais e/ou com RFID). Outra possibilidade, é o recurso ter capacidade de comunicação apoiada em

tecnologias embarcadas da Ind. 4.0. O C4.0 deve ter, pelo menos, uma comunicação baseada em uma arquitetura orientada a serviços (SoA) [5].

A quarta etapa, representação virtual (dados) pertence a camada de informação do RAMI 4.0. Nela há dados sobre o recurso que podem ser armazenados no próprio componente (e disponibilizados por um meio de comunicação compatível com a Ind. 4.0) ou pode ser armazenado em um sistema de TI, que disponibiliza e comunica as informações para o mundo externo [7]. Os dados dos recursos devem representar os atributos e características do recurso, que serão preenchidos com valores reais da instância do recurso. Cada atributo ou característica, assim como o componente, devem ser referenciados com uma identificação única [45], como pode ser observado na Figura 6.

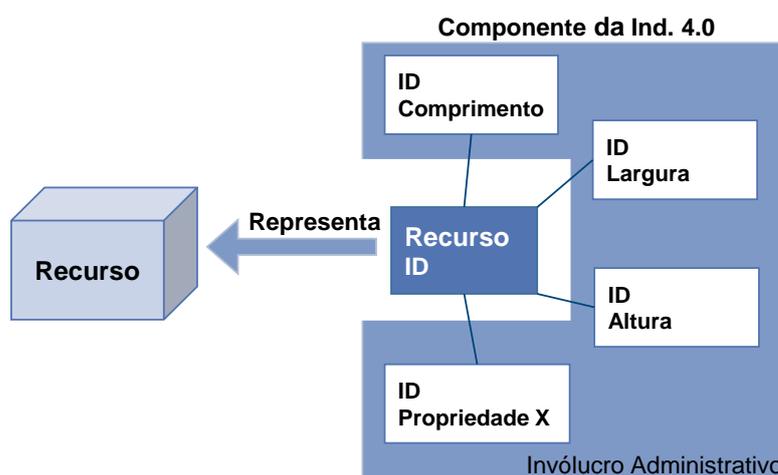


Figura 6: Propriedades e identificadores de um recurso no AS (adaptado de [45])

As propriedades e identificadores são gerados a partir das características com ou sem atribuições de valor, em que propriedades sem atribuição de valor representam “Classes de propriedade” e propriedades com valores atribuídos representam “Instâncias de propriedade”. O identificador é necessário para evitar ambiguidades. Uma propriedade na Ind. 4.0 é criada quando um termo é especificado digitalmente como uma propriedade de acordo com a IEC 61360 ou ISO 13584-42. Assim, descreve uma característica específica de um recurso do mundo físico no mundo virtual [45].

A última camada é a funcionalidade (técnica) do componente, que pertence a camada funcional do RAMI 4.0 e engloba softwares para planejamento local (ex.: planejamento de soldagem), software para planejamento, configuração, controle e manutenção de projeto; e funcionalidades técnicas para implementação da lógica de negócios [5].

Um C 4.0 está localizado ao longo do eixo “Camadas” do RAMI 4.0 (Figura 2), como demonstrado na Figura 7 [9]. Onde há o componente no mundo físico e no mundo virtual, contando com suas respectivas tecnologias.

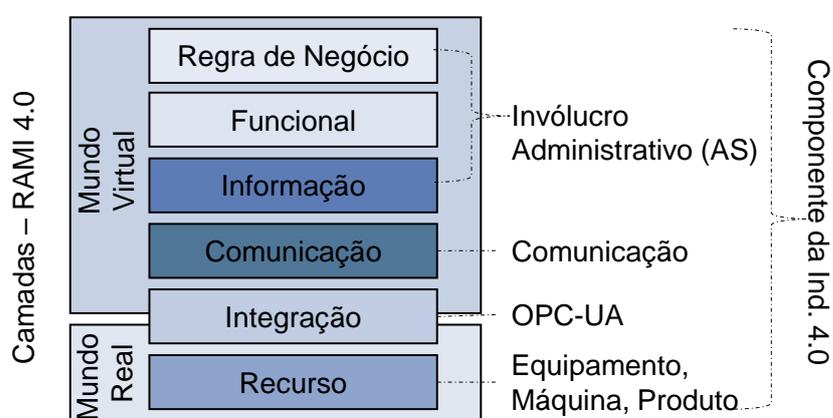


Figura 7: Relação de um C 4.0 com o eixo “Camadas” do RAMI 4.0 (adaptado de [9,43])

Os C 4.0 devem cumprir com os requisitos descritos, e devem possuir um Invólucro Administrativo (AS – *Administration Shell*), responsável por transformar os objetos físicos em Componentes da Indústria 4.0 [5], de forma a padronizar a interação dos sistemas de produção industrial. O AS pode adotar várias posições no ciclo de vida e cadeia de valores (eixo “Ciclo de Vida e Cadeia de Valor”), e ocupar vários níveis hierárquicos [9]. O AS dentro da camada de funcionalidade pode estar localizada em servidores distribuídos ou em uma nuvem [53].

### 2.2.3 Invólucro Administrativo

O termo *Shell* é um termo técnico utilizado na computação para se referir a uma interface (camada externa) entre o usuário e o núcleo de um sistema operacional por meio de um interpretador de comandos. Enquanto o termo *Administration*

*Shell (AS)* (ou *Asset Administration Shell (AAS)* como utilizado em alguns documentos) é um conceito concebido para organizar a administração de ativos e recursos dentro de um sistema de TI [9]. Apesar do alto nível de abstração do AS, ele pode ser adaptado como uma camada de controle para componentes definidos por software [53].

O AS é um elemento de integração que tem como objetivo administrar a comunicação de um recurso para interconectá-lo a um sistema de manufatura inteligente, de maneira que este recurso possa se interagir com outros recursos e sistemas por meio da troca de dados e informação [53].

Ele abrange a representação virtual e as funcionalidades [5], armazena informações e dados digitais, disponibiliza os serviços relacionados ao recurso [54] e possibilita que os recursos de manufatura sejam gerenciados por sistemas de gerenciamento de ambientes produtivos inteligentes [55]. O AS também proporciona interoperabilidade entre os aplicativos que gerenciam o sistema de fabricação e torna os recursos detectáveis na Ind. 4.0 [54].

O AS não precisa necessariamente estar acoplado ao recurso físico [9], recursos com capacidade passiva de comunicação ou capacidade ativa não compatível com I4.0, possuem o seu AS hospedado em um sistema de TI de nível superior [5], sendo assim, uma peça equipada com uma etiqueta RFID tem o seu AS hospedado em um servidor nas camadas 'Regra de Negócio', 'Funcional' e 'Informação' do RAMI 4.0 [9].

Somente recursos com capacidade de comunicação compatível com I4.0, possuem a capacidade de hospedar o AS no próprio recurso, por meio, por exemplo, do armazenamento no controlador de uma máquina, fornecido via interface de rede. Vale ressaltar que a comunicação compatível com a Ind. 4.0 não precisa implementar todas as propriedades da comunicação em tempo real, mas pode delegá-las às tecnologias existentes [5].

O AS possui uma interface interna, desenvolvida e organizada de acordo com o fabricante do componente, e uma interface padronizada para comunicação externa com outros sistemas e componente. Portanto, o conceito de AS é

altamente adequado para padronização sem interferência nas funcionalidades do recurso [53].

O AS é composto por um cabeçalho e um corpo, como pode ser observado na Figura 8. O "Cabeçalho" contém a identificação do AS e do recurso a que se refere [54] e faz parte do manifesto do corpo. O cabeçalho deve ser estritamente padronizado e refere-se a recursos e capacidades específicas [53]. O "Corpo" contém um grande número de submodelos para modelar o AS de acordo com o recurso específico [45], podendo conter dados, aplicativos ou referenciar outros componentes [53].

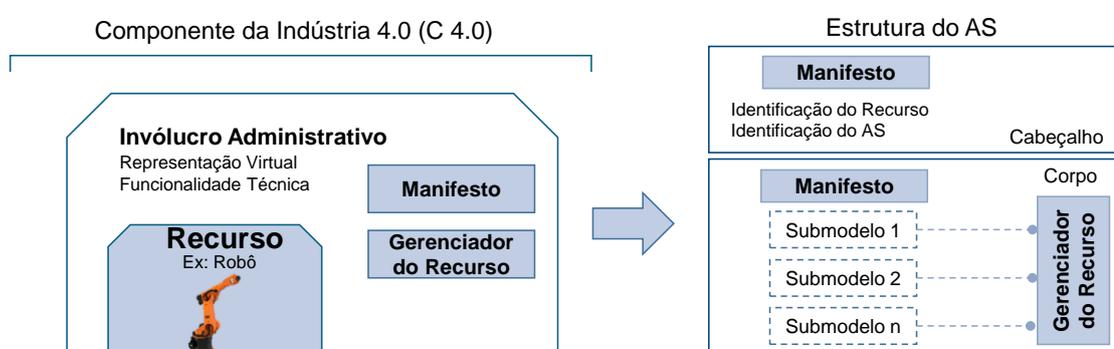


Figura 8: Estrutura e representação de um C 4.0 (adaptado de [45,5])

O AS também é composto por um "Manifesto" onde as propriedades que descrevem os submodelos são armazenadas como um diretório [54] do conteúdo de dados e metadados individuais e da representação virtual. Dados adicionais na representação virtual incluem aqueles em fases individuais do ciclo de vida, por exemplo, dados CAD [7], dados comerciais e histórico de serviços etc. [14]. As informações contidas no manifesto devem ser conhecidas publicamente e ter semântica padronizada para a realização de uma rede de comunicação compatível com os aspectos da Ind. 4.0 [5].

São partes do manifesto: descrição das funções características dos componentes e seus fluxos de trabalho; a relação entre as funções e os relacionamentos entre os C 4.0 relevantes para os processos de produção [5] e informações sobre todos os subcomponentes do componente [53].

Os submodelos representam diferentes aspectos relevantes do componente. Cada submodelo contém uma quantidade estruturada de propriedades que podem se referir a dados [45] e funções [54] que podem estar disponíveis em uma variedade de diferentes formatos de dados complementares. O objetivo é padronizar apenas um submodelo para cada aspecto / domínio técnico individual, de forma a facilitar que diferentes componentes cooperem entre si na rede. Essa cooperação é permitida pois o submodelo possui as propriedades adequadas e padronizadas para comunicação e uso, mas é essencial ressaltar que cada um dos submodelos deve seguir normas e padrões definidos (baseado no IEC61630), para garantir suas padronização e interoperabilidade [45].

Há várias possibilidades de submodelos que podem ser incorporados ao AS de um recurso: eficiência energética, montagem, inspeção, furação e controle de processo [45]. Um submodelo essencial, que deve haver em todo AS, é o de segurança de dados.

Cada submodelos e suas respectivas propriedades devem ser identificados globalmente, de preferência de acordo com norma padronizadas (Ex: ISO 29002-5, usada para eCI@ss e IEC Common Data Dictionary) [45]

Além do manifesto e dos submodelos, o AS também é composto pelo Gerenciador de Recursos, que representa o vínculo entre Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) com o C 4.0 [54], ou seja, ele permite a comunicação do C 4.0 [56]. Por meio dele, os serviços de TI têm acesso aos dados, informações e funções armazenados no AS e os disponibilizam para acesso por outros sistemas e usuários externos, que tenham autorização [56,5].

Um componente 4.0 pode ser constituído por vários componentes [7] para diferentes propósitos. Essa característica cumpre a exigência da Ind. 4.0 por modularização dos sistemas de produção para reconfiguração de ordens e reuso de ativos. Portanto, é requerido a capacidade de um C 4.0 abranger outros componentes logicamente, para que atuem como uma unidade, mesmo que temporariamente.

A cooperação e união entre dois ou mais C 4.0 caracterizam componentes compostos, que resulta em um novo recurso com um respectivo Invólucro Administrativo. Portanto, um novo componente da Ind. 4.0 é criado [45].

Como um componente composto representa um recurso separado, é apropriado gerenciá-lo como um sistema e mapeá-lo como um C 4.0 individual [5]. Portanto, os componentes compostos exibem automaticamente a mesma estrutura relacionada aos dados e informações que os C 4.0 [45] e representa os dados, funções e status do ativo composto [45], como pode ser observado na Figura 9.

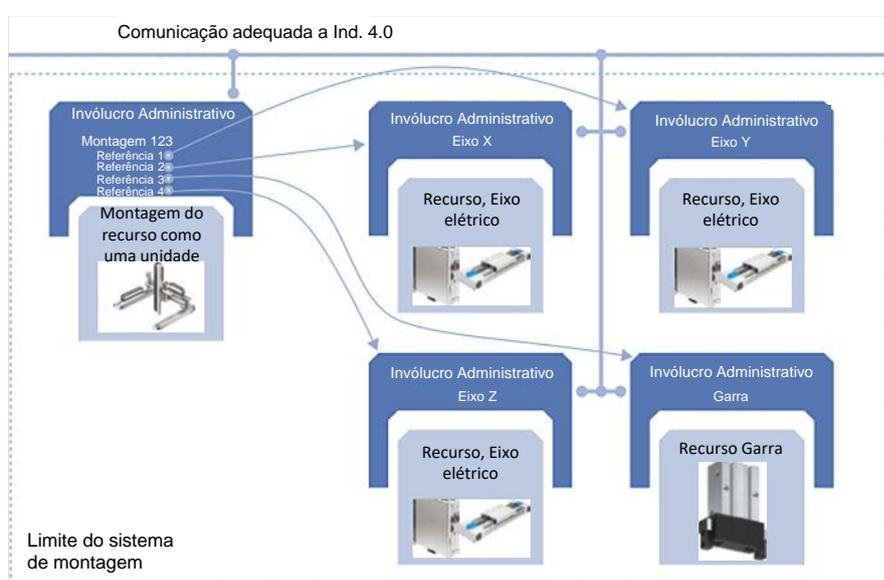


Figura 9: Sistema de montagem em um AS (adaptado de [45])

Os dados e funções dos C. 4.0 individuais integrados ao componente composto, ainda são auto gerenciáveis e podem ser acessados por meio de seus AS correspondentes, mas são referenciados pelo componente composto [45].

Recursos individualmente conhecidos ou anônimos não possuem um AS e quando integrados a um componente composto, eles podem ser representados por ele, sendo assim, são recursos gerenciados em conjunto [45].

Estabelecer relacionamentos entre vários C 4.0 gera um complexo de relacionamentos com novas funcionalidades, possibilitando esse componente de se tornar um C 4.0 com seu próprio AS, no qual as novas habilidades e

características desse tipo de componente composto são representadas por submodelos apropriados [45].

Esta capacidade de encadeamento permite uma arquitetura multicamada, no qual o local de cada aplicativo pode ser definido de acordo com o caso de uso e o hardware do dispositivo. Estações de trabalho e servidores com altas capacidades computacionais podem, por exemplo, conter programas que forneçam as habilidades de computação necessárias, e que podem paralelamente ser acessados por pequenos componentes com baixo desempenho computacional [53].

Uma máquina de produção pode constituir um componente 4.0 e conter outros C 4.0 independentes e estruturados incorporados a ela (ex. uma máquina modular) [5]. Estas máquinas também permitem a rápida incorporação de aplicativos personalizados, e podem ser atualizadas e mantidas, com um grau de automatização dependente dos aplicativos incorporados, permitindo uma alta flexibilidade. O propósito é a obtenção de um sistema produtivo, que consiste de vários dispositivos de trabalho com capacidade de interação autônoma. O resultado é uma rede altamente interconectada sem hierarquias, em vez da pirâmide de automação, que apresenta diferentes níveis de controle de automação industrial [53].

A modelagem e mapeamento das interações e cooperação entre os C 4.0 podem ser iniciados mesmo com poucas informações disponíveis. Ao ter acesso a mais informações, a modelagem pode ser estendida para incluir partes dos recursos ou os recursos podem ser vinculados e tratados como um único componente composto. Isso permite um *design* de sistema altamente flexível [45].

As propriedades que descrevem as interfaces ou funções dos recursos físicos, que formam componentes compostos devem ser descritas e inter-relacionadas no mundo digital. As conexões tornam-se relacionamentos de propriedades no AS, formalmente descritas e mapeadas para serem processáveis por máquina. No mundo digital, as conexões entre os recursos do mundo físico são representadas por relacionamentos (r) entre as propriedades (M) armazenadas no AS dos componentes 4.0, sendo que as relações estáticas descrevem o

arranjo de conexões, e as relações dinâmicas descrevem a cooperação entre os componentes I4.0 durante a operação. Os relacionamentos entre as propriedades de componentes compostos podem ser mapeados digitalmente usando meios simples e expressos por exemplo em uma tabela [45].

Outro fator importante a ser considerado para esses componentes, é a necessidade de um método para identificação do status de qualquer C 4.0. O status do componente representa em que fase do ciclo de vida ele está, ou sob o ponto de vista da produção, quais operações já foram realizadas e quais faltam, permitindo seu rastreamento e acompanhamento ao longo do seu ciclo de vida. Eles podem seguir um modelo, complementado com o maior número possível de variáveis de status, de modo a permitir uma visão detalhada e consistente de um componente da Ind. 4.0 em qualquer momento, para fins de análise e monitoramento [55].

Estas análises e dados podem ser usados para administração local de outros C 4.0 (durante o processo produtivo por exemplo) e pela administração para coordenação dos fluxos de trabalho [5].

Em ambientes de Ind. 4.0 é importante considerar que o próprio fabricante do componente pode decidir o que deve e pode ser revelado no AS, e de que forma essas informações são fornecidas [5] sem comprometer seu know-how e estratégias de negócio.

A aplicação do AS pode trazer diversos benefícios para as corporações, como a melhora na agilidade, maior suporte a métodos avançados de otimização e aumento das funcionalidades e flexibilidade de produção, resultando na redução de custos [53].

Portanto, é necessário garantir uma estrutura para a criação e customização de ASs, pois com a Indústria 4.0, o grau de interação, troca de informações e atividades de profunda parceria tendem a aumentar ao longo de toda a cadeia de valor dos produtos, e portanto várias e diferentes partes interessadas terão diferentes necessidades de dados [54].

Considerando este desafio, Chilwant e Kulkarni (2019) [54] propõem uma estrutura para Invólucros Administrativos com propriedades abertas para sistemas industriais, cujo objetivo é fornecer orientações sobre propriedade e autoridade para criar e modificar o AS e propor novas propriedades que tornem-no extensível, personalizável, sustentável (usando controle de versão) e de fácil interação para usuários.

Soares (2018) [57] desenvolve uma proposta de um modelo para o gerenciamento de informações relacionadas aos processos de Montagem Inteligente em CPS. O modelo utiliza de um diagrama de classes UML para o planejamento do processo e o agendamento da montagem do produto definido. De acordo com o ator, o *software* MOM gera um Invólucro Administrativo que contém as dimensões do produto, bem como o modelo geométrico de seus componentes; documentação técnica; componentes necessários para a montagem desta variante do produto; estações que serão utilizadas no processo de Montagem Inteligente; e etapas dos processos de montagem e respectivos parâmetros.

### **2.3 Implementação da Indústria 4.0**

Para que um projeto de transformação de um sistema de manufatura tradicional em sistemas de manufatura inteligentes seja bem-sucedido, é essencial definir a fase de transição e a maneira de introduzir novos princípios. No entanto, essa transformação pode levar bastante tempo para ser implementada, ter alto custo financeiro, além de precisar lidar com vários desafios que muitas vezes são desconhecidos [58].

Um estudo realizado pela IBM em 2015 mostra que altos investimentos e custos, a complexidade e o know-how necessário, e a inadequação das infraestruturas e tecnologias de TI existentes, são as principais restrições para a realização da Indústria 4.0 [59]. Associado a essas dificuldades, várias empresas e gestores possuem a expectativa de que a Indústria 4.0 será a própria solução para os problemas que ocorrem na fábrica [60].

Com isto, as empresas se confrontam com dificuldade na transformação de ideias visionárias da Indústria 4.0 em aumento de produtividade, e consequente lucro. Um motivo pode ser encontrado na implementação isolada de tecnologias e requisitos da Ind. 4.0, ao invés da ideal implementação integrada e corretamente planejada. Outro motivo pode ser o foco e a crença de que a Ind. 4.0 seja apenas tecnologias, negligenciando portanto as vantagens de mercado, as pessoas, habilidades, novos modelos de negócio e a cadeia de valor que também são características importantes desse cenário [60].

Portanto, é essencial que a Ind. 4.0 seja implementada por times interdisciplinares, contando com profissionais especializados em Indústria 4.0, e profissionais com profundo conhecimento sobre as expectativas e processos realizado na empresa [3].

Para que a implementação de transformações seja bem-sucedidas, é necessário que elas ocorram em etapas [61]. Este fator foi amplamente considerado em vários estudos analisados até o presente momento. Portanto, nesta sessão serão tratados dois tópicos principais referentes a implementação da Indústria 4.0, sendo eles os princípios de *design* que apoiam a identificação de projetos pilotos para implementação e definição de soluções de transformação da indústria, e as ferramentas para análise de maturidade tecnológica e métodos para implementação da Ind. 4.0 que orientam as empresas na identificação das soluções mais apropriadas para seu cenário específico.

Nazarenko e Camarinha-Matos [12] propõem uma abordagem para fornecer aos projetistas de ambientes físico-cibernéticos, estratégias e ferramentas de suporte para o desenvolvimento, integração e avaliação do CPS para apoiar a crescente complexidade da evolução dos mesmos. A metodologia pretendida e a estrutura de suporte são gerais e permitem aplicação em diferentes áreas.

### **2.3.1 Princípios de *design***

Para definir um roteiro e iniciar um projeto de transformação da indústria, é necessário considerar os princípios de *design* da Ind. 4.0, que permitem a

adaptação de todo o sistema e a coordenação entre seus componentes [58], e apoiam na identificação de projetos pilotos para implementação. Esses princípios podem ter como base os pilares da Ind. 4.0 (Capítulo 2.1), e variam para cada autor [16].

### ***Interoperabilidade***

É a capacidade de CPSs e humanos se conectarem, comunicarem e trabalharem em conjunto através de redes abertas como a Internet e por meio de descrições semânticas que sigam comunicação padronizadas, protocolos, e formatos de troca de dados estabelecidos, permitindo que diversos componentes dentro da fábrica (oriundos de diferentes fornecedores) possam trocar informações uns com os outros e com sistemas de informação, para fazer parte da dinâmica da fábrica inteligente [16,58,38].

A interoperabilidade é o princípio mais importante para promover a transição atual do setor para conectar os componentes [38], sendo seu foco a integração, ponto mais importante da IoT e do CPS, considerando a integração horizontal, de ponta a ponta e vertical [10].

### ***Virtualização***

Virtualização significa que dados obtidos de sensores e sistemas embarcados são analisados em tempo real, transformados em informação e vinculados a modelos de plantas virtuais e modelos de simulação para a criação de uma cópia virtual do mundo físico que permita o monitoramento e simulações de processos físicos [58,16].

Ao virtualizar todos os sistemas e dispositivos da fábrica, dados e cenários de contexto real podem ser gerados, por meio de aprendizado de máquina e algoritmos complexos para produzir conhecimento, resultando em maior utilização de máquinas, eficiência, produtividade, e prevenção de falhas [38].

Os modelos gerados (as cópias virtuais) podem fornecer informações sobre a condição de todos os CPS, etapas de trabalho ou medidas de segurança [16], apoiando a implementação de questões ergonômicas, otimização de processos,

estudos de viabilidade e familiarização com os ambientes de trabalho. Também podem ser utilizados como base para engenheiros e *designers* de processos para personalizar, modificar e testar soluções alternativas sem afetar os processos físicos [58].

### ***Descentralização***

Sistemas descentralizados são adequados para cenários com alta quantidade de tomada de decisões por vários e diferentes recursos espalhados ao longo da fábrica e com um sistema com crescente demanda por produtos individuais, uma vez que a complexidade desse sistema se torna cada vez maior e mais difícil de gerenciar [16,38].

Portanto, para garantir a flexibilidade, garantia de serviço e melhor organização do sistema, do processo e dos recursos na fábrica é necessária a descentralização, que permite a diferentes subsistemas a capacidade de tomada de decisões de forma autônoma, em direção ao objetivo ao qual eles são destinados. Descentralização é um termo chave para a autoconfiguração, a auto-organização, usando métodos de aprendizado de máquina [58] e manutenção preditiva [38].

O nível de descentralização depende do nível de tempo da tomada de decisão, portanto, eventos em tempo real requerem um maior nível de descentralização. Uma decisão de desligar uma máquina de produção por causa de parâmetros fora do estabelecido pode ser tomada de maneira totalmente descentralizada. Uma decisão com base nos dados de qualidade do produto fabricado deve ser tomada para um grupo de máquinas ou chão de fábrica. Uma decisão financeira de longo prazo precisaria usar algoritmos de otimização ou regras de decisão [58]. Somente em casos de falhas ou situações totalmente fora do padrão, que as tarefas devem ser delegadas para sistemas centralizados [16].

O processamento vinculado aos CPS para a tomada de decisão descentralizada é permitido devido aos avanços na miniaturização de sistemas embarcados e tecnologias, mais baratos e com maior capacidade de processamento [3,16], por exemplo a própria etiqueta RFID pode informar às máquinas quais etapas de

trabalho são necessárias e a localização do recurso [16]. Sistemas de produção inteligente descentralizados podem ser alterados em tempo real, viabilizando economicamente até pequenos lotes, alterações de última hora ou produtos completamente personalizados [15].

### ***Capacidade de processamento em tempo real***

A Indústria 4.0 requer que a fábrica inteligente tenha soluções tecnológicas de alta qualidade [38] e capacidade em tempo real em coletar, centralizar, limpar, armazenar e analisar dados de máquinas, equipamentos, produtos, clientes e de fornecedores [16].

Os resultados do gerenciamento de dados em tempo real são acompanhamento, rastreabilidade e monitoramento do status de produção e da planta, que permitem rápidas reações à falha [16], tomada de decisões com base em dados e novos eventos e a criação de bancos de dados estruturados para se projetar em uma abordagem preditiva e prescritiva [58].

Esse princípio é uma demanda da indústria 4.0 e é utilizado quando por exemplo uma falha ocorre em uma máquina, que possui a capacidade de delegar suas tarefas para outras máquinas ou solicitar instruções definidas por uma camada superior de tomada de decisão [38].

### ***Orientação ao serviço***

A orientação ao serviço na estratégia de produção é essencial para a cooperação entre diferentes indústrias na criação conjunta de valor agregado para atender as demandas de produtos customizados pelos clientes, sendo que a IoS desenvolve um papel importante nesse princípio, pois ela estimula os responsáveis pela tomada de decisão a planejar, personalizar ou adaptar a produção orientada para objetivos customizados individuais [38].

Os serviços estão relacionados com as pessoas, e também com os componentes inteligentes nas fábricas, onde os CPSs oferecem suas funcionalidades como um serviço na Internet e como resultado, as operações de produção dos

processos específicos do produto podem ser compostas com base nos requisitos específicos do cliente, fornecidos por exemplo pela etiqueta RFID [16].

### ***Modularidade***

A modularidade representa a capacidade das fábricas e os CPSs de se adaptar flexivelmente às mudanças de mercado, quanto aos requisitos dos produtos e de produção, por meio da substituição ou expansão de módulos individuais, ajuste da estrutura produtiva em caso de flutuações sazonais ou alterações nas características do produto [38,16]. Permitindo também, a adaptação rápida às mudanças internas nas fábricas em termos de planejamento, programação, planejamento de manutenção e falhas de partes do sistema [38].

Isso é possível devido a interfaces padronizadas de software e hardware, que permitem o Plug&Play, ou seja, permitem a identificação automática de novos módulos que podem ser conectados ao sistema em tempo real e utilizados imediatamente via IoS [17].

### ***Outros princípios***

Os princípios acima são os mais aceitos na literatura, no entanto sustentabilidade e aspectos humanos também são levantados em consideração.

Oliveira e Afonso (2019) apresentam a essencialidade de processos de fabricação sustentáveis inteligentes, capazes de operar com baixo volume de produção e economicamente viáveis [38].

Enquanto Ebrahimi et al. (2019) [58] levantam suas considerações em respeito ao aspecto humano, que consiste em ergonomia, segurança (interações e comunicação M2M e M2H), aspectos sociais e psicológicos dos humanos neste ambiente, considerando que as pessoas estão no centro das transformação trazidas pela Ind. 4.0, e seu nível de aceitação da mudança é a chave para o sucesso dos projetos [58]. Os aspectos humanos também são apresentados em modelos de maturidade, que trazem a importância da cultura e estrutura humana quanto à implementação da Indústria 4.0 [3].

Na Figura 10, são identificados os vínculos entre os principais princípios [58].

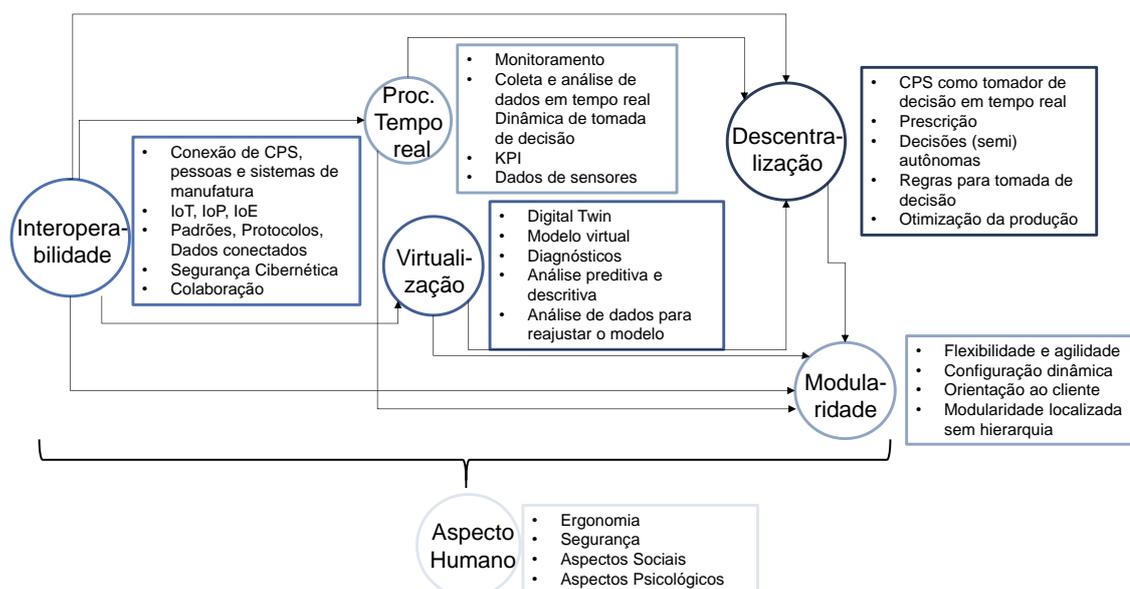


Figura 10: Vínculos entre os princípios de design na Indústria 4.0 (adaptado de [58])

A interoperabilidade pode ser considerada a primeira etapa da transformação da Ind. 4.0 e é principalmente um desafio tecnológico para a transição da indústria tradicional em uma indústria inteligente [58]. Ela é um requisito obrigatório para todos os componentes da Indústria 4.0 (CPS, IoT, IoS) nos quais as fábricas inteligentes são tratadas [38] e é considerada sob o ponto de vista de sistemas físicos, na integração de máquinas e equipamentos ao sistema produtivo, e sob o ponto de vista dos sistemas de informação, que já possuem um alto nível de interoperabilidade entre algumas soluções, mas que ainda lida com os desafios para se conectar aos sistemas físicos [58].

Os princípios da capacidade e virtualização em tempo real, também estão em um alto nível de implementação, pois são utilizados para promover uma compreensão aprofundada do sistema da empresa, permitindo monitorar e tomar decisões sobre ações urgentes, em tempo real e de curto prazo (aspecto de observação e diagnóstico) [58].

Assim como a interoperabilidade, a modularidade está relacionada a todos os outros princípios de *design* da Ind. 4.0, permitindo que os sistemas se adaptem de maneira flexível às mudanças. A tomada de decisão descentralizada na Ind.

4.0 é considerada mais complexa em comparação com a interoperabilidade e a modularidade, devido a dependência em tecnologias avançadas de processamento e análise de dados em tempo real e aos impactos que esses princípios causam no processo de produção inteligente. Por esse motivo, a implementação da descentralização é implementada dependendo de sua viabilidade e obrigatoriedade para o funcionamento do sistema, e projetos envolvendo este princípio possuem uma visão de longo prazo para a implementação [58].

Por meio modularidade e da descentralização há a distribuição de tomadores de decisão (CPS) individuais ao longo das fábricas inteligentes, em tempo real. Isto possibilita estratégias rápidas de *design* para uma fábrica inteligente, onde os dados são processados e transformados em conhecimento em curtos intervalos de tempo para os CPS, em termos de produção [38].

O aspecto humano apresenta grandes desafios para o sucesso da transformação, e devem ser considerados durante todo o processo [58].

### **2.3.2 Modelos de Maturidade: Ferramentas e métodos**

Para apoiar as empresas na transformação digital, com práticas da Indústria 4.0 e orientá-las estrategicamente, é essencial definir a estrutura e a metodologia das diretrizes de implementação, que ocorra de forma bem-sucedida. Com este intuito, foram desenvolvidos Modelos de Maturidade (MMs) [61].

A noção de maturidade é usada para definir, avaliar e formar uma diretriz e uma base para avaliar a maturidade do processo ou de uma tecnologia na empresa [61], que apoiam o desenvolvimento de uma estratégia ou roteiro de implementação da Ind. 4.0 [3,61] sendo duas principais abordagens para fornecer orientações estratégicas na Indústria 4.0: focada em estratégias gerais ou adequada e alinhada as necessidades e objetivos de negócio específicos da empresa [62].

A primeira são as abordagens holísticas cujo objetivo é avaliar e utilizar elementos da Indústria 4.0 para propor técnicas guiadas de avaliação da atual maturidade do setor 4.0 na empresa [62] em relação a transformação de processos, gerenciamento de aplicativos, governança de dados, gerenciamento de ativos e alinhamento organizacional [61]. Também buscando fornecer roteiros genéricos do setor 4.0 e ferramentas relacionadas à implementação. Essas ferramentas abrangem aspectos culturais, estratégicos, organizacionais e técnicos, além de analisar produtos, processos e funcionários [62]. O objetivo é orientar as empresas para alcançar um estágio de maturidade mais alto, a fim de maximizar os benefícios econômicos da Indústria 4.0 [61]. Ferramentas referenciais relacionados a esta abordagem são a Caixa de Ferramenta Indústria 4.0 [13] e o Indicador de Maturidade [3] que possuem grande relevância para este trabalho e portanto serão detalhados a seguir.

A segunda são abordagens específicas com foco específico para aplicação e, portanto, abordam apenas os aspectos relevantes para o caso aplicado. Como estudos focados nos processos de criação de valor [63] ou para manufatura orientada a dados [64].

Ambas as abordagens apresentam limitações quando utilizadas de forma separada. Os modelos holísticos simplificam e generalizam a realidade para aplicações em ambientes industriais reais, e os modelos específicos concentram dimensões isoladas ou áreas funcionais, negligenciando interdependências potenciais do setor com outras áreas ou riscos resultantes [62].

Portanto é necessário trabalhar com abordagens mescladas com uma estrutura para avaliação e aprimoramento, definida com práticas, entradas e saídas que atendam aos critérios e requisitos da Ind. 4.0 de forma prática [61,62]. Dentre os requisitos para o desenvolvimento de um MM 4.0, pode-se citar três principais.

Primeiro, a operacionalização conceitual da Ind. 4.0, como CPS, IoT, sistemas embarcados e integração vertical/horizontal, pois os profissionais têm problemas para aplicar e avaliar esses conceitos na empresa. Portanto é evidente que profissionais com conhecimento abrangente da Indústria 4.0 são necessários para conduzir as etapas do modelo e alinhar diferentes visões ao longo do

processo [62]. É importante destacar que, além dos altos custos de investimento, os conceitos abstratos e complexos da Indústria 4.0 estão entre as principais barreiras contra sua implementação [60].

O segundo requisito é a definição e descrição detalhada de cada nível e correspondentes itens de maturidade, essenciais para manter a compreensão de toda a estrutura do modelo por quem o irá utilizar. Entrevistas são formas comuns e indicadas para compreensão das expectativas do que se pretende implementar, mas deve-se evitar o uso de escalas genéricas e sem uma referência clara [62].

O terceiro requisito é a transformação dos resultados em um relatório de maturidade, incluindo a interpretação dos autores e especialistas sobre os resultados da avaliação. Essa etapa é importante pois as empresas têm problemas em proceder para as próximas etapas devido à complexidade, novidade do assunto e falta de clareza sobre o que é analisado e estudado [62].

Em nível estratégico, as empresas enfrentam diversos desafios desde a compreensão até a implementação da Ind. 4.0. Logo, há dificuldade para compreender a ideia da Indústria 4.0 e relacioná-la ao seu domínio específico, causando a falta de entendimento quanto à relevância e benefícios concretos dessa revolução industrial. Isto causa dificuldade para identificar campos estratégicos de ação, programas e projetos de potencial. Sendo assim há uma grande necessidade geral de orientação para encontrar uma estratégia adequada para lidar com os desafios impostos pela Indústria 4.0 [60].

Há diversos estudos sobre modelos de maturidade e indicadores, genéricos ou específicos. Este trabalho tem por foco, a implementação da Ind. 4.0 na manufatura, portanto serão apresentados a seguir, os principais modelos de maturidade da literatura com foco em manufatura.

### ***Caixa de Ferramentas Industrie 4.0***

A Caixa de Ferramentas *Industrie 4.0* (ou *Toolbox Industrie 4.0*) é uma ferramenta prática para a identificação e implementação de abordagens específicas e áreas de aplicação relevantes para a Indústria 4.0 e pode ser

utilizada como auxílio e referência para avaliação quanto aos produtos e à produção, como apresentado na Figura 11 [13].

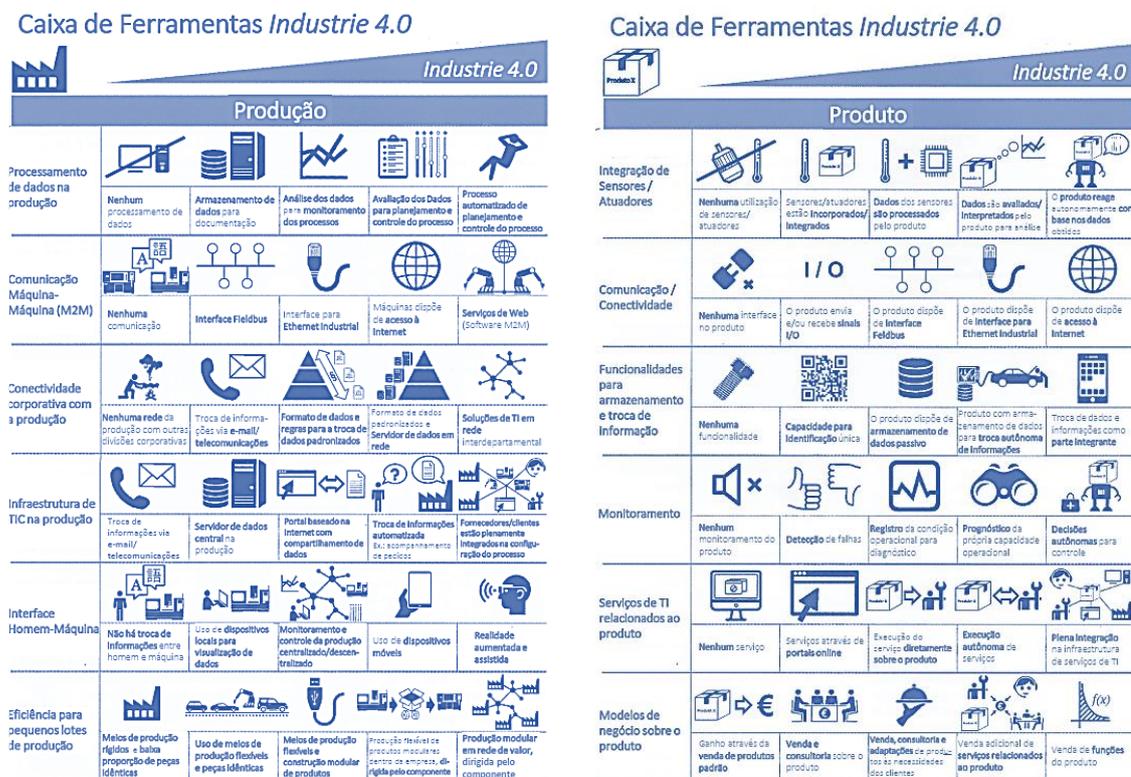


Figura 11: *Toolbox Industrie 4.0* (adaptado de [13])

O guia orienta as empresas a encontrarem sua própria definição da Ind. 4.0 através da apresentação de ferramentas e procedimentos para o desenvolvimento individual dos próprios pontos fortes e conhecimentos dela, fornecendo também pontos de partida para o desenvolvimento da empresa.

O objetivo da *Toolbox Industrie 4.0* não é ser uma estratégia rígida de implementação da Ind. 4.0, mas sim fornecer suporte às empresas que pretendem desenvolver novos produtos, processos, serviços e modelos de negócio nesse contexto, de modo que possam expandir suas capacidades e desenvolver seus potenciais de acordo com seus objetivos e visão próprios. A abordagem visa analisar competências específicas da empresa para derivar casos de uso de implementação e ideias para novos modelos de negócios.

A ferramenta é estruturada em seis camadas de aplicação e cinco classes de desempenho. As camadas de aplicação indicam possíveis áreas de

implementação da *Industrie 4.0*, já as classes de desempenho identificam níveis de implementação em potencial.

A aplicação desses estágios de desenvolvimento na própria empresa ajuda a encontrar ideias para novos modelos de negócio, produtos inovadores e melhorias na produção.

O Toolbox foi utilizado por Rodrigues (2018) [65] para classificar o estágio tecnológico atual de uma linha de montagem de *Boosters* de freio e identificar possíveis áreas onde as tecnologias *Industrie 4.0* poderiam ser aplicadas no estudo de caso, apoiando no planejamento do estágio tecnológico futuro almejado pela empresa.

### ***Indicador de maturidade***

O Indicador de Maturidade proposto em [3] fornece um meio de estabelecer o estágio atual de maturidade da Indústria 4.0 das empresas, identificar medidas concretas para atingir um estágio mais avançado de maturidade e buscar maximizar os benefícios econômicos da Indústria 4.0 e da digitalização. O objetivo é transformar a empresa em uma organização ágil e de aprendizado, com capacidade de se adaptar e implementar mudanças em tempo real.

A aplicação do Indicador de Maturidade inicia com o mapeamento estratégico da empresa (seus objetivos, benefícios esperados, estado almejado, dados e pessoas envolvidas) e avaliação do estágio em que os processos atuais estão quanto aos sistemas e tecnologias implementados em cada uma das áreas de foco da empresa (quais e como são operados), como apresentado na Figura 12.

A avaliação do estágio se dá sob a perspectiva tecnológica, organizacional, cultural e principalmente de processos de negócio (pois o nível desejado e objetivado pela empresa depende disto).

Os benefícios desejados representam o balanceamento entre custo, competências e benefícios de acordo com cada circunstância, definidos pela empresa, também considerando tempo para implementar e como os requisitos

definidos mudam ao longo do tempo devido as respostas do mercado e das estratégias da empresa.

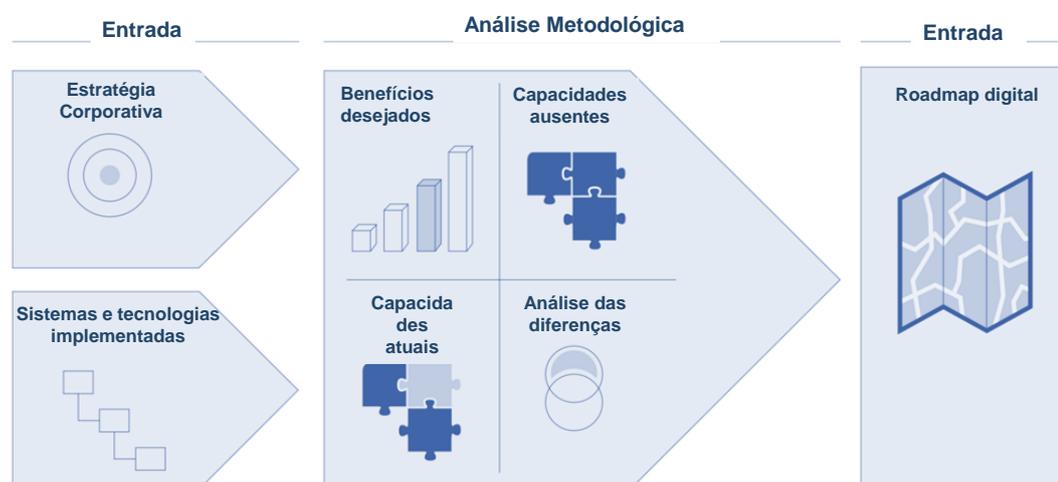


Figura 12: Metodologia para implementar a Indústria 4.0 (adaptado de [3])

A empresa define a ordem de prioridades, ou seja, a sequência que possíveis soluções serão implementadas, que devem estar alinhados com os objetivos da empresa. Para a obtenção das soluções, deve-se analisar as competências atuais da empresa e as competências ausentes (de acordo com a literatura e os objetivos almejados pela empresa), para assim realizar a análise das diferenças do atual para o futuro. Para isto utiliza-se o Indicador de Maturidade.

O Indicador de maturidade tem 6 estágios de desenvolvimento, que possuem características próprias e se apoiam nas tecnologias e aplicações implementadas nos estágios anteriores. Eles são divididos em dois subgrupos “Digitalização” e “Indústria 4.0”, como pode ser observado na Figura 13. Os primeiros dois estágios não fazem parte da Indústria 4.0, mas sim da fase de digitalização, pois a digitalização sozinha não é 4.0, mas ela é o básico para ter um ambiente inteligente de acordo com os requisitos da Ind. 4.0.

O primeiro estágio, informatização, é a base para a digitalização. Diferentes tecnologias de informação são usadas isoladamente e os dados são armazenados e disponibilizados de forma descentralizada, ao longo de toda a empresa. As tecnologias e sistemas de TI são utilizadas para realizar tarefas repetitivas, mas não estão conectados com o sistema ERP.

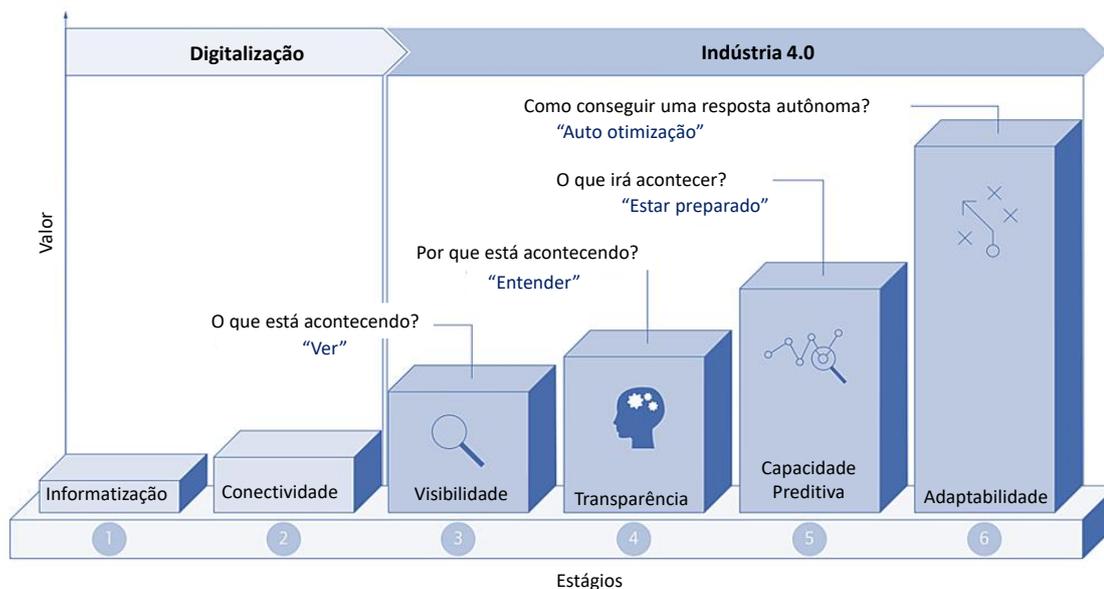


Figura 13: Etapas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 (adaptado de [3])

No segundo estágio, conectividade, as tecnologias de informação, anteriormente isoladas, são substituídas por sistemas conectados. Os dados gerados na empresa são vinculados entre diversos sistemas, por exemplo: dados de desenvolvimento do produto (CAD/CAM) são disponibilizados para a manufatura e dados de manufatura são automaticamente gerados e disponibilizados via um sistema MES. Desse modo, os sistemas de TI estão conectados e refletem os principais processos empresariais, no entanto ainda não há integração e comunicação em tempo real entre os sistemas e o chão de fábrica.

O terceiro estágio, visibilidade, é composto pela implementação de sensores, microchips e tecnologia de rede, com o objetivo de monitorar diversos dados em diferentes recursos e processos, ao longo de toda a empresa. O armazenamento e atualização dos dados da fábrica em tempo real é chamado de Sombra digital, e representa a capacidade de apresentar um modelo atual, digital, sem redundâncias da empresa. Nesse sistema, os dados alimentam um modelo atualizado de toda a empresa e há a combinação de fontes de dados existentes (como sistemas PLM, ERP e MES) com sensores no chão de fábrica.

Os dados são apresentados em interfaces simples e funcionais no formato de KPIs e *Dashboards*, evitando excessos de informação e facilitando a tomada de decisão da gestão. Assim o planejamento da produção pode ser ajustado pelo

gerente de produção; e os clientes e fornecedores podem ser informados em tempo real. Neste ambiente os silos de dados são eliminados e integrados em uma única fonte de dados que deve refletir a estrutura individual da empresa.

O quarto estágio, transparência, representa a criação de conhecimento com os dados coletados e armazenados na sombra digital. Sendo assim, após a coleta de dados na sombra digital, análises de causa e efeito, como KPIs em diferentes níveis do processo, são realizados para revelar interações e interdependências importantes do sistema e gerar informações contextualizadas, que serão utilizados para apoiar a tomada de decisões complexas. Devido ao grande volume de dados, aplicativos de Big Data são implantados paralelamente aos sistemas de aplicativos de negócios, como sistemas ERP ou MES. A análise de Big Data integrado ao ERP permite por exemplo, a disponibilização de informações em função da situação e perfil de cada usuário.

O quinto estágio, capacidade preditiva, representa a capacidade da empresa em projetar a sombra digital no futuro, simular diferentes cenários, avaliar cada um e identificar a probabilidade de ocorrência deles. Com isto, as empresas podem tomar decisões com base em previsões e recomendações confiáveis de alto padrão e implementar as medidas apropriadas em tempo hábil, reduzindo o número de falhas e eventos inesperados.

A capacidade preditiva é um requisito fundamental para o sexto estágio, adaptabilidade, onde a tomada de decisão e mesmo as ações/medidas são automatizadas. Nesse estágio, a empresa é capaz de usar dados da sombra digital para tomar decisões que tenham os melhores resultados no menor tempo e para implementar as medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem assistência humana. A adaptação contínua permite que uma empresa delegue determinadas decisões aos sistemas de TI, sendo que o grau de adaptabilidade depende da complexidade das decisões e da relação custo-benefício. Uma possibilidade de adaptabilidade é a alteração da sequência de ordens planejadas devido a falhas esperadas na máquina ou para evitar atrasos na entrega, além da auto-organização e auto balanceamento de acordo com a demanda.

Sendo assim, dados da sombra digital (estágio 3), somados com o conhecimento das interações relevantes (estágio 4) e a projeção do ambiente no estágio futuro para geração de previsões e recomendações (estágio 5), permitem que melhores decisões sejam tomadas no menor tempo possível, e as melhores medidas sejam automaticamente implementadas, sem assistência humana (estágio 6).

Os 6 estágios de maturidade são combinados com as áreas estruturais e funcionais da empresa e compõem o modelo de maturidade, Figura 14, para determinar o grau de maturidade geral e específico de cada uma das áreas.

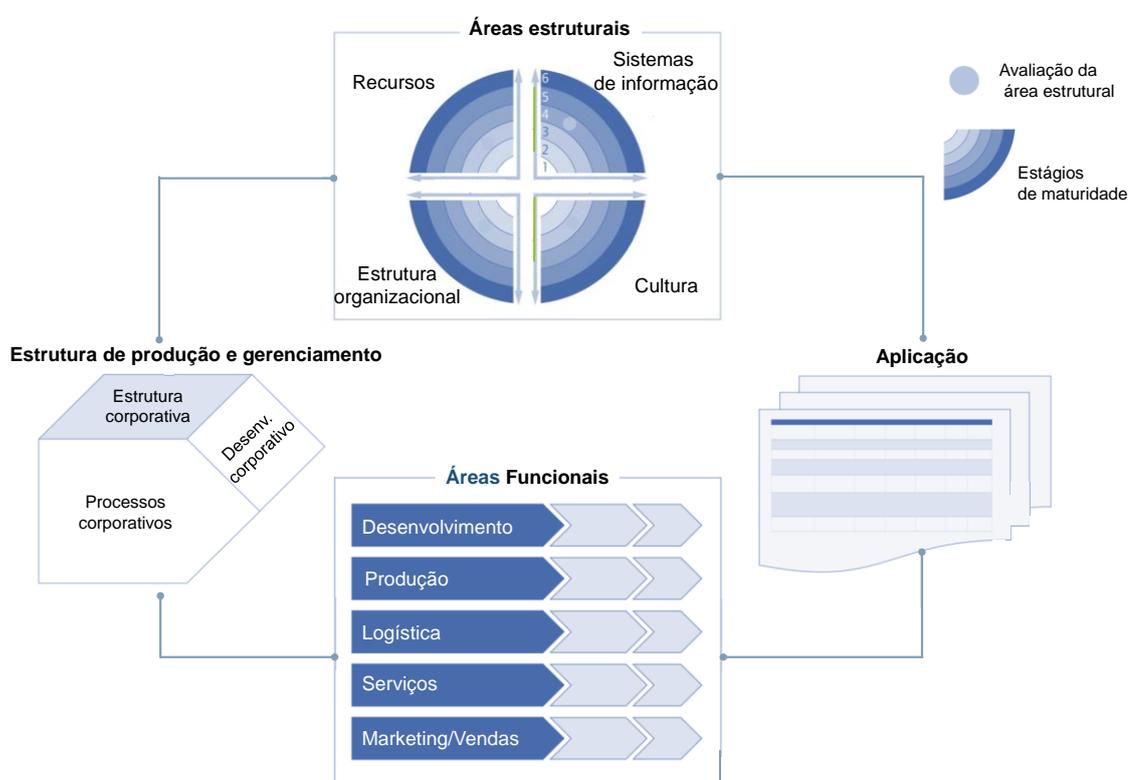


Figura 14: Modelo do Indicador de Maturidade (adaptado de [3])

A estrutura de produção e gerenciamento divide os aspectos internos de uma empresa em processos corporativos, desenvolvimento corporativo e estrutura corporativa.

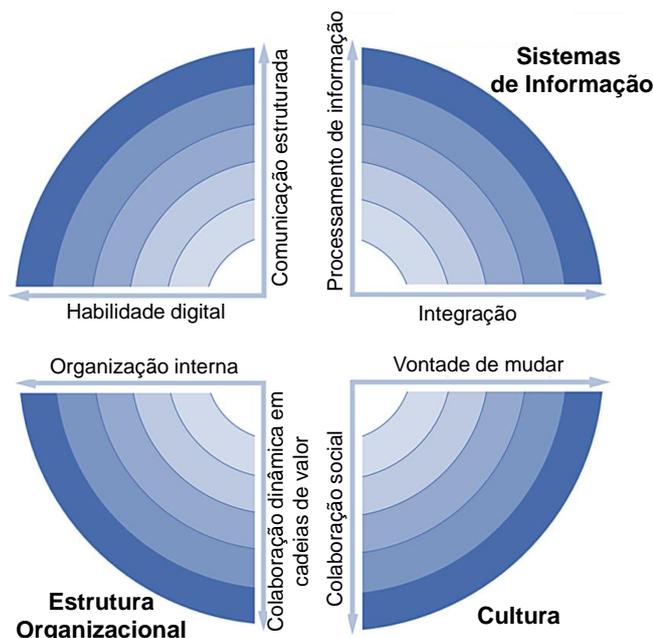
Os processos corporativos referem-se às cadeias de processos em todas as áreas da empresa, incluindo desde o desenvolvimento até vendas/marketing. Ele forma a base das cinco áreas funcionais investigadas pelo Indicador de Maturidade: desenvolvimento, produção, logística, serviços e marketing/vendas.

O desenvolvimento corporativo refere-se ao desenvolvimento estratégico e operacional da empresa. Enquanto a estrutura corporativa refere-se às áreas estruturais de uma empresa, que compõem aspectos indispensáveis para a produção de seus bens e serviços e inclui recursos, sistemas de informação, cultura e estrutura organizacional. Cada área estrutural possui dois princípios que guiam o desenvolvimento contínuo, e cada princípio compreende várias competências que devem ser desenvolvidos sucessivamente.

A extensão em que as competências das áreas estruturais são implementadas determina o estágio de maturidade do princípio relevante, sendo que o estágio de maturidade específico de cada recurso pode ser diferente para cada área funcional e os processos de negócios contidos neles.

As áreas estruturais e seus respectivos princípios podem ser observados na Figura 15. Os recursos são voltados para a realização dos vários estágios de desenvolvimento e fornecem às empresas de manufatura a base para se transformarem em organizações ágeis. De acordo com [3], recursos representam recursos físicos e tangíveis, incluindo recursos humanos, maquinário, equipamentos, ferramentas, materiais e produto final. Eles devem ter uma interface entre o mundo físico e digital, permitindo que informações sejam criadas, trocadas e disponibilizadas em tempo real para que todos os grupos de partes interessadas sejam incluídos no processo de comunicação.

O recurso é composto pelos princípios habilidade digital e comunicação estruturada. O primeiro representa a capacidade dos recursos de coletar, processar e analisar dados em informação e de tomar decisões e implementar elas devido as tecnologias incorporados a eles, por meio disso eles possuem uma consciência do mundo real e trabalham baseados em informação. Este princípio depende principalmente dos funcionários garantirem que o sistema esteja configurado devidamente. O segundo princípio, comunicação estruturada, representa a introdução de ciclos de controle descentralizados e uso de TICs para criar redes temporárias que permitam que os recursos interajam e se comuniquem de forma eficiente e estruturada.



*Figura 15: Áreas estruturais (adaptado de [3])*

Os Sistemas de Informação (SI) são sistemas nos quais as informações são fornecidas com base em critérios econômicos definidos por pessoas em TICs. Os SI preparam, processam, armazenam e transferem dados e informações, e é fundamental garantir que estejam disponíveis em tempo real e em formato amigável para a tomada de decisão.

Os SI possuem os princípios processamento de informação e integração. O processamento de informações de autoaprendizagem representa o processamento e disponibilização dos dados para apoiar a tomada de decisão de forma ágil. É necessário habilidade técnica para acesso aos dados em tempo real e infraestrutura para processamento e entrega das informações. A integração dos sistemas de informação, descreve a integração dos sistemas de TI em uma arquitetura de SI com uma plataforma central que conecte tais sistemas com os recursos e pessoas, garantindo o uso dos mesmos dados por todos os envolvidos na cadeia de valor em tempo real. Essa plataforma requer interfaces padrão, flexibilidade, abertura, segurança de TI e qualidade de dados.

A Estrutura Organizacional (EO) estabelece regras que se refere tanto para a organização interna da empresa (processos estruturais e operacionais), quanto para a sua organização externa (posição dentro da cadeia de valor), compondo assim os dois princípios.

A organização interna caracteriza menor restrição e alto grau de responsabilidade individual aos funcionários, que devem ser altamente qualificados, com conhecimento técnico avançado e que trabalhem em um ambiente dinâmico. A colaboração dinâmica na cadeia de valor representa a troca mais eficiente de informações, bens e serviços, que ocorre de forma automatizada e contínua entre diferentes empresas, e que permite cooperação dinâmica, flexível e transparente em relação ao mercado. Pode-se utilizar visibilidade operacional, por meio de IoT, para visualizar o status de produção e o desempenho de qualidade de um fornecedor por exemplo.

Para o sucesso da inserção de novas tecnologias e modelos de negócio, é essencial a abordagem da cultura corporativa. Ela descreve a confiança dos funcionários nos sistemas implementados e a preparação deles para aceitar e confiar nas sugestões e informações fornecidas por eles. Neste ambiente as pessoas devem estar dispostas a documentar seus conhecimentos adquiridos e compartilhá-los com outras pessoas em um ambiente de comunicação aberta. Os funcionários também deverão estar conscientes da necessidade de desenvolver continuamente suas habilidades e competências.

A cultura é composta pelo princípio vontade de mudar, no qual os funcionários estão dispostos a revisar e adaptar continuamente seu próprio comportamento em resposta a um ambiente em mudança e são capazes de identificar oportunidades ou necessidades de mudança e iniciar as próprias ações relevantes. E pelo princípio de colaboração social, ou seja, o ambiente é caracterizado pela confiança e relações sociais com compartilhamento de conhecimento aberto e desinibido entre os funcionários.

### **3 Justificativa, Objetivos e Método de pesquisa**

Na revisão bibliográfica foram apresentados os conceitos e a literatura dos temas mais importantes para a compreensão deste trabalho, relacionados a Ind. 4.0, bem como as possibilidades e benefícios que esta abordagem pode propiciar. Além disso, foram apresentadas questões e exigências desafiadoras para a implementação da Ind. 4.0 e pesquisas que buscam superar estes desafios. Neste contexto, nota-se a necessidade do desenvolvimento e aperfeiçoamento destes novos conceitos, para que obstáculos que dificultam a implementação de processos e componentes inteligente sejam superados.

Diante disso, serão apresentados a seguir a contextualização e problema de pesquisa explorado nesta dissertação, o objetivo do trabalho e posteriormente, será descrito o método de pesquisa desenvolvido para este trabalho.

#### **3.1 Motivação**

A Indústria 4.0 busca explorar novas tecnologias e conceitos nos processos de negócio e de fabricação, para integrar processos técnicos e administrativos, além de virtualizar o mundo real, com o objetivo de transformar a empresa em um sistema capaz de se adaptar e aprender de forma ágil e contínua em um ambiente em constante mudança, por meio de um sistema de produção integrado, flexível, eficiente, com alta qualidade e baixo custo.

Para que um projeto de transformação seja bem-sucedido, é essencial definir as fases de transição, as propostas de projetos e a maneira de introduzir os novos princípios, de acordo com as necessidades, requisitos e modelos de negócio da empresa e da manufatura inteligente. Atentando-se para que essas soluções não tenham apenas aspectos tecnológicos, uma vez que a Ind. inclui pessoas, negócios e toda a cadeia de valor durante a integração de ponta a ponta.

Para apoiar as empresas na transformação digital, com práticas da Indústria 4.0 e orientá-las estrategicamente, é essencial definir a estrutura e a metodologia das diretrizes de implementação, que ocorra de forma bem-sucedida,

respeitando restrições e prioridades definidas. Com este intuito, foram desenvolvidos ferramentas e modelos de maturidade, que apoiam o desenvolvimento de uma estratégia ou roteiro de implementação da Ind. 4.0.

O desenvolvimento de uma estratégia de implementação prática da Indústria 4.0, adequada e alinhada as necessidades e objetivos de negócio da empresa devem considerar a singularidade de cada empresa, portanto o processo de implementação da Indústria 4.0 varia e difere para cada cenário.

De acordo com métodos e estudos desenvolvidos até o momento, como os desenvolvidos por Cecil et al. [11], Pisching [9], Rodrigues [65] e Schuh et al. [3], a estratégia de migração para a Ind. 4.0 inclui a identificação dos requisitos do sistema, mapeamento do processo produtivo, identificação da maturidade, identificação de projetos e soluções de potencial implementação e a implementação física e virtual dos projetos planejados.

Porém foi identificado que esses métodos possuem foco principalmente no mapeamento e identificação da maturidade ou na implementação física, havendo poucos estudos que apresentam os procedimentos e ferramentas utilizados para o planejamento macro e detalhado dessas soluções, considerando a implementação gradual destas melhorias identificadas para atingir efetivamente a Indústria 4.0. A análise dos procedimentos e ferramentas é essencial para formar o elo entre requisitos teóricos e requisitos técnicos da corporação.

Tendo esta lacuna em vista, um projeto em parceria com uma empresa multinacional de manufatura foi estabelecido com o Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura (SCPM). O SCPM é um laboratório de pesquisa fundado e dirigido pelo Prof. Dr.-Ing. Klaus Schützer para o desenvolvimento de pesquisas apoiados por órgãos de fomento e pela indústria, possuindo parcerias com universidades alemãs.

A proposta do projeto surgiu como uma necessidade da empresa em desenvolver um Demonstrador de Indústria 4.0, que represente o cenário de um sistema de produção inteligente, incorporado com as principais funcionalidades e tecnologias da Indústria 4.0.

Os objetivos desejados com o projeto incluiu a incorporação de tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 incluindo rastreabilidade e identificação do produto, monitoramento de parâmetros de máquina e operações realizadas por humano e máquina, interface homem máquina, integração horizontal e da cadeia de valor (com clientes e fornecedores), produção de lotes únicos e customização em massa; fácil visualização das etapas produtivas por todas as pessoas envolvidas (cliente, gestor, operador, parceiros); e possibilidade de realizar treinamentos de Indústria 4.0 para os funcionários da empresa, apresentação de processos inteligentes para clientes e parceiros interessados em tecnologias e serviços de Indústria 4.0; e testes e incorporação de novas tecnologias, soluções e métodos de trabalho para o chão de fábrica.

Esta parceria permitiu que novos estudos fossem realizados para o planejamento e arquitetura do ambiente inteligente. O trabalho em questão é resultado desta parceria e da aplicação prática do modelo do ambiente produtivo digitalizado e inteligente.

### **3.2 Problema de pesquisa e Objetivo do trabalho**

Kubickek [66] recomenda a definição de uma pergunta de pesquisa para o projeto com o intuito de facilitar a compreensão do objetivo de pesquisa. Considerando o contexto apresentado, o trabalho busca responder os seguintes problemas:

Como deve ser planejado e modelado um sistema produtivo para que ele possa ser transformado em um ambiente inteligente dentro dos requisitos da Indústria 4.0? E quais fatores e requisitos devem ser considerados durante a modelagem?

De modo a responder à pergunta, **o Objetivo Principal** deste trabalho é propor um método para o planejamento de um sistema demonstrativo e inteligente, incluindo a descrição das etapas de planejamento, análise e modelagem deste sistema, de forma que atenda aos requisitos da Indústria 4.0.

Para alcançar o objetivo proposto, o projeto será baseado nos seguintes

***Objetivos Específicos:***

- Identificar conceitos e tecnologias para a implementação da Indústria 4.0;
- Identificar os requisitos, e ferramentas para planejamento e modelagem de sistemas produtivos inteligentes;
- Definir a estrutura, características e princípios de um sistema inteligente;
- Desenvolver uma proposta de planejamento de um sistema inteligente.
- Implementar e validar o método em uma empresa parceira.

### **3.3 Método de pesquisa**

Considerando o objetivo proposto no projeto, foi adotada a abordagem DSR (*Design Science Research*) como método para o desenvolvimento deste trabalho. Apesar do DSR ser comumente aplicado em pesquisas científicas no campo de Sistemas de Informação (SI), sua aplicação pode ser estendida para outros campos do conhecimento [67], incluindo a Engenharia de Produção e soluções para Indústria 4.0.

Ele leva em consideração os rigores da academia e tem potencial para auxiliar na solução de problemas reais [68], principalmente em cenários complexo e pouco ou nada explorados [12]. Portanto, é ideal para pesquisas relacionadas à Indústria 4.0.

O DSR já foi utilizado por diversos autores em aplicações relacionadas a Ind. 4.0, incluindo o desenvolvimento de um modelo para o gerenciamento de informações durante a montagem inteligente [57], de produtos inteligentes para idosos [69], de um sistema de computador para as pessoas avaliarem tecnologias [70] e de um modelo de maturidade na digitalização da logística [71].

Nazarenko e Camarinha-Matos [12] utilizam o DSR como metodologia para o projeto de ambientes CPS, com uma estrutura que permite ampla aplicação. A

estrutura conceitual dos autores considera três pilares principais, que são interligadas por três ciclos, como pode ser observado na Figura 16 [12].

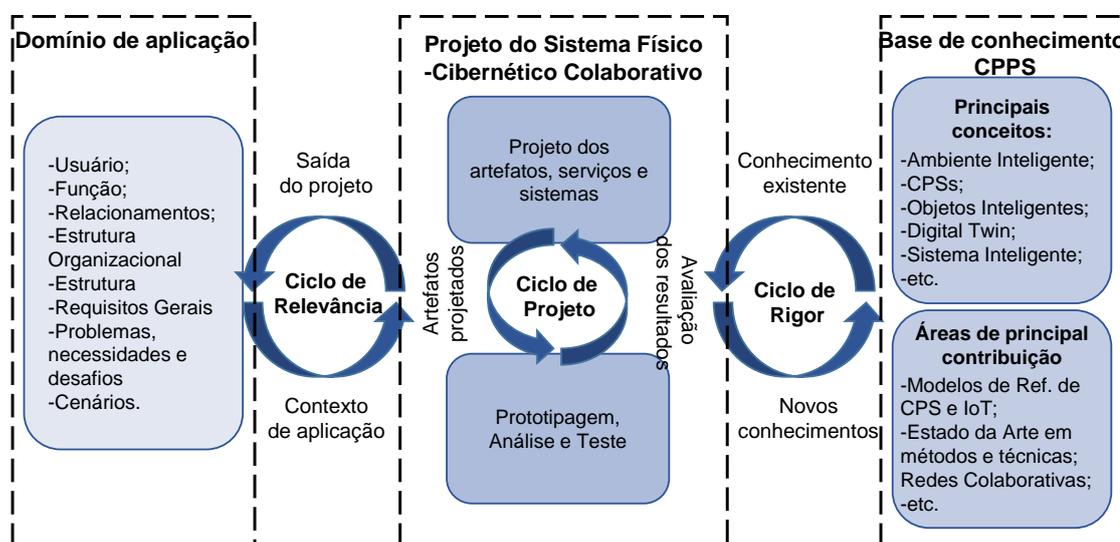


Figura 16: Metodologia de projeto do CPS colaborativo inspirada no DSR (adaptado de [12])

Os pilares são representados pelos retângulos coloridos. Na esquerda, o Domínio de aplicação (por exemplo, Manufatura Inteligente, Casa Inteligente, Transporte Inteligente...), que contém necessidades, limitações e desafios que precisam ser considerados ao longo do ciclo de projeto, identifica os principais atores, o ambiente em que esses atores participam e a maneira como eles se comunicam e se organizam. O segundo, no meio, é o pilar de Projeto do Sistema Físico-Cibernético Colaborativo, cujo foco é na implementação do cenário fornecido, projetando os artefatos cibernéticos e físicos com mais avaliação e teste. E o terceiro, à direita, é a base de conhecimento do domínio, no caso do estudo sobre CPPS, que fornece acesso a conceitos, teorias e práticas recomendadas para a construção de artefatos. É especialmente relevante a identificação dos principais conceitos da base de conhecimentos, pois eles refletem os requisitos e refletem a perspectiva do ambiente [12].

Os ciclos adotados são três, representados por duas setas que formam um loop. O ciclo da Relevância (direta) é responsável por fazer a ponte entre o Domínio do Aplicativo e a Pesquisa em termos de entrada da fase de projeto, mas também

em termos de identificação de critérios formais para avaliar a saída do Ciclo de projeto dentro da área de aplicação. O Ciclo de Projeto (meio), durante o qual o projeto do artefato passa por uma verificação constante de concordância com os requisitos e necessidades declarados, a fim de alcançar uma solução satisfatória para o problema declarado. E o Ciclo de Rigor (esquerda), que garante o vínculo necessário entre o processo de pesquisa e a Base de Conhecimento do CCP Colaborativo, contendo tanto a experiência baseada em aplicativos quanto as soluções ou artefatos genéricos existentes, além disso, esse ciclo acumula o conhecimento gerado durante a fase de projeto dos artefatos para ser considerado em outras iterações [12].

A reutilização do conhecimento obtido é de extrema importância, uma vez que o processo de projeto e implementação de um ambiente inteligente pode ser acelerado se os desenvolvedores não precisarem começar do zero sempre que um novo sistema é criado, possivelmente enfrentando as mesmas dificuldades que já foram superadas [12].

Para o desenvolvimento do método desse trabalho, foi considerado a abordagem DSR formalizado por Nazarenko e Camarinha-Matos [12] para o projeto de ambientes inteligentes, o método para gestão de projetos de sistemas proposto por Dennis et al. [72], as definições e requisito trazidos com os modelos de maturidade apresentados no Capítulo 2.3.2, os métodos apresentados pelos autores quanto a Indústria 4.0, e as diretrizes para planejamento, organização e elaboração de um projeto acadêmico [73].

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram consideradas seis etapas, como ilustrado na Figura 17. A seguir são descritas as atividades a ser realizada em cada etapa, e no Capítulo 3.4 é apresentado como essas atividades foram desenvolvidas ao longo do trabalho.

Em cada uma destas etapas serão executadas as seguintes tarefas:

### ***Etapa 1: Levantamento de pesquisa***

Antes de iniciar a pesquisa científica, é necessário planejar e delimitar o propósito e área de interesse do projeto, que exprima a intenção do pesquisador,

em alcançar um determinado resultado. Logo é necessário o desenvolvimento de um plano inicial de trabalho, que pode ser modificado devido a 3 diferentes situações, que inclui encontrar novos problemas e restrições, compreender melhor o projeto, ou encontrar um objetivo mais interessante que conduza o projeto a outro foco. Mas todos trabalhos sempre começam com um propósito e algum tipo de planejamento [73].

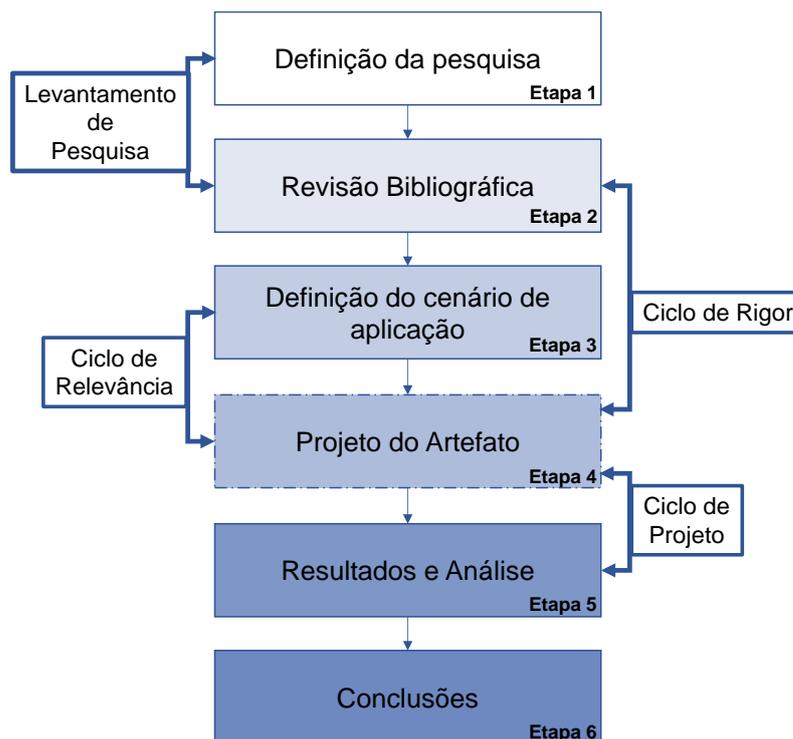


Figura 17: Método de pesquisa

As etapas iniciais incluem o estabelecimento de um assunto bastante específico que o pesquisador possua domínio razoável das informações, a partir dele deve ser desenvolvido uma pergunta que norteie a pesquisa e oriente-a ao problema que pretende resolver (Capítulo 3.1 e 3.2).

Com isto pode-se definir as palavras-chave da pesquisa, e o(s) banco(s) de dados que serão utilizado para obtenção dos artigos e estudos científicos, sendo preferencial o uso de mais de uma base de dados [73]. Também foram propostos um escopo e um método geral que apresente as principais etapas e tópicos que devem ser incorporados ao trabalho. Lembrando que eles podem ser atualizados ou modificados conforme o projeto avança.

Para a realização deste trabalho, necessita-se de ferramentas e recursos de hardware e software que apoiem as atividades de pesquisa. Eles devem ser planejados e seu uso documentado.

Esta etapa pode sofrer atualizações ou modificações devido ao ciclo de Levantamento de pesquisa.

### ***Etapa 2: Revisão bibliográfica***

Por meio da extensa e minuciosa pesquisa bibliográfica acerca do tema *Indústria 4.0*, obteve-se uma maior compreensão e contextualização sobre o problema de pesquisa, e foram encontrados métodos, ferramentas e técnicas que tivessem congruência com a abordagem do trabalho e ao mesmo tempo potencial para solução do problema de pesquisa proposto.

Por meio da revisão obteve-se os requisitos teóricos que um sistema de manufatura inteligente deve cumprir, foram identificados os pilares que fundamentam a Indústria 4.0 e modelos padronizados de arquitetura do sistema, além de métodos e modelos para planejamento, projeto e implementação da Indústria 4.0.

Por meio da análise dos métodos e modelos, foram identificadas as abordagens presentes no Capítulo 2, que apoiaram o desenvolvimento do método de pesquisa, como já foi apresentado no Capítulo 3.3 e é usado de base para a elaboração desta dissertação. Esta etapa pode sofrer modificações e atualizações devido ao Levantamento de pesquisa e de rigor.

### ***Etapa 3: Definição do cenário de aplicação***

Esta etapa consiste na definição do cenário de estudo, para aplicação prática da teoria. Neste trabalho, ele foi realizado em cooperação com uma empresa parceira do Laboratório de Sistemas Computacionais para Projeto e Manufatura (SCPM). Com esta parceria, foi definido o projeto piloto para implementação do modelo desenvolvido neste trabalho de mestrado.

Foram realizadas reuniões e visitas à empresa para alinhamento das expectativas e objetivos do projeto piloto; definição dos requisitos do ambiente; definição do projeto piloto; planejamento do projeto piloto; mapeamento do sistema para avaliação da maturidade do mesmo; e definição de indicadores de desempenho.

#### ***Etapa 4: Projeto do Artefato***

A partir das informações obtidas das etapas anteriores, foi elaborada uma proposta de um método de planejamento de um sistema produtivo inteligente. O objetivo desta etapa foi propor um método (de acordo com o DSR, o método é o artefato deste trabalho) que superasse as limitações descritas no problema de pesquisa e favorecesse o planejamento e projeto de sistemas inteligentes.

Esta etapa consistiu em elaborar e aprimorar o artefato, considerando as melhores técnicas e métodos identificados, em conjunto com as experiências obtidas ao longo do processo de planejamento do sistema inteligente. O artefato foi desenvolvido simultaneamente com a implementação prática, logo ele sofreu muitas atualizações que foram identificadas como as melhores práticas.

O método proposto foi aplicado e analisado (Etapa 5) para identificar se ele retornava uma solução satisfatória para o problema definido.

Esta etapa está em pontilhado (Figura 17) pois após a realização do teste, caso o modelo não fosse considerado uma solução satisfatória, esta etapa seria retomada, em busca de novas soluções e ideias para a elaboração de um novo modelo. Apenas quando o modelo foi considerado satisfatório, a etapa foi finalizada. O resultado desta etapa pode ser encontrado no Capítulo 4.

#### ***Etapa 5: Resultados e Análises***

É necessário acompanhar e avaliar o andamento e desempenho do projeto durante todo o seu ciclo de vida (da concepção até finalização). Este acompanhamento pode ocorrer por meio da análise dos indicadores de desempenho previamente definidos, assim como por meio de reuniões (realizados com frequência) para análise da evolução e andamento do projeto.

Com isto é possível identificar se o projeto atingiu o seu objetivo e requisitos propostos inicialmente.

O modelo foi validado a partir da implementação do mesmo na empresa e por meio de entrevistas dos gestores de fábricas e profissionais com conhecimento em Indústria 4.0. Os resultados desta etapa são descritos no Capítulo 5

### ***Etapa 6: Conclusões***

Finalizada a implementação e análise do ambiente inteligente desenvolvido, assim como do modelo proposto, são discutidas as contribuições teóricas e práticas do projeto, e apresentadas as lacunas e propostas para pesquisas futuras no Capítulo 6.

***Levantamento de Pesquisa*** representa o ciclo de atualização do problema e objetivo do projeto, frente às descobertas e avanços de conhecimento sobre o tema estudado durante a revisão bibliográfica. A etapa 1 pode sofrer alterações e modificações ao longo do trabalho caso se encontre problemas e restrições, seja compreendido melhor o projeto, ou encontrado um objetivo mais interessante que conduza o projeto a outro foco.

Com este ciclo, a etapa de definição da pesquisa fornece os objetivos e problemáticas a serem investigados na revisão bibliográfica, e a revisão bibliográfica retorna toda a base teórica para apoiar nas respostas às perguntas propostas no projeto. As entradas e saídas das duas etapas em relação ao Levantamento de pesquisa, pode ser visualizado na Figura 18. O ***Ciclo de Rigor***, ***Ciclo de Relevância*** e ***Ciclo de Projeto*** foram baseados na pesquisa de Nazarenko e Camarinha-Matos [12] e corresponde as mesmas entradas e saídas proposta por eles. Estes ciclos foram detalhados durante a descrição da Figura 16.

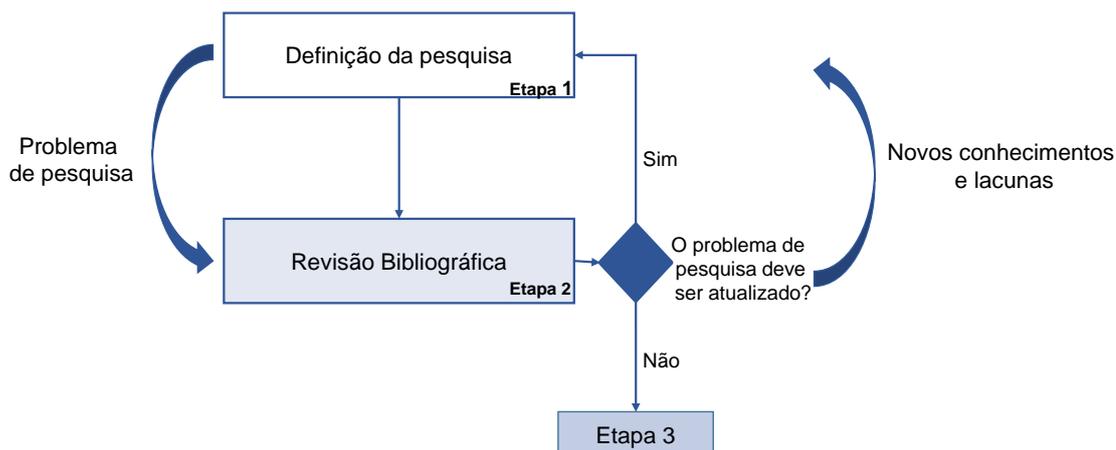


Figura 18: Levantamento de pesquisa

### 3.4 Desenvolvimento do trabalho

A ideia do projeto foi iniciada após a participação da estudante em um grupo de pesquisa que promoveu parceria entre o Laboratório SCPM e a Universidade Técnica de Darmstadt, relacionado ao mapeamento de interações e relacionamentos que ocorrem entre componentes inteligentes em um ambiente de montagem inteligente. Durante o projeto, foi identificada a importância, necessidade e escassez de métodos para o planejamento de sistemas inteligentes inseridos no contexto da Indústria 4.0.

A área de interesse principal inicialmente, se restringia ao planejamento de sistemas de montagem inteligente, com foco em Engenharia do Processo. No entanto, durante as pesquisas iniciais percebeu-se que várias características planejamento e modelagem de um sistema de montagem inteligente, estavam relacionadas ao processo de manufatura e cadeia de valor. Portanto o foco do trabalho passou a ser o planejamento de sistemas inteligentes (incluindo manufatura e montagem) e tendo atenção aos relacionamentos com os clientes e modelos de negócio.

Este novo foco de pesquisa foi possível devido ao Levantamento de Pesquisa, que permite a atualização e modificação do objetivo base do trabalho frente às descobertas e avanços de conhecimento sobre o tema de pesquisa.

Foram conduzidas pesquisas nos temas “Planejamento/*Design* de sistemas de manufatura inteligente”, “Modelos e ferramentas para avaliação de maturidade” e “Arquiteturas e frameworks para implementação da Indústria 4.0”.

Tendo este foco, foram definidas as seguintes palavras-chave da pesquisa:

*“Modeling” OR “Design” OR “Planning” OR “Framework” OR “Architecture”  
AND “Industry 4.0” OR “Cyber Physical System” OR “Smart Manufacturing”*

A pesquisa inicial foi realizada no banco de dados SCOPUS e incluíram apenas: Os anos de 2013 até 2020, uma vez que estudos relacionados ao cenário da Indústria 4.0 e em relação ao foco da pesquisa, começaram a ser publicados apenas a partir de 2013, de acordo com o SCOPUS; Artigos de periódicos, de conferência, e capítulos de livros; Idiomas inglês e português; Limitados as áreas de ciência da computação, engenharia, ciência da decisão e negócios e gerenciamento.

O banco de dados SCOPUS foi o principal influenciador da pesquisa, pois ele possui uma quantidade superior de periódicos mais recentes, fator importante pois o tema de pesquisa Indústria 4.0 é recente e uma tendência que possui forte discussão nos tempos atuais. Mas também foram realizadas pesquisas no Web of Science e Science Direct para identificar potenciais pesquisas inexistentes no SCOPUS.

Devido à grande quantidade de documentos encontrados, foi realizado uma primeira triagem do conteúdo do resumo apenas para os 50 documentos mais relevantes do tema. Aqueles que se encaixavam no escopo da dissertação foram selecionados para leitura completa, que corresponde à segunda triagem, responsável por definir os documentos que de fato fariam parte do referencial bibliográfico desta dissertação.

Além dos documentos resultantes desta busca, documentos recomendados pelo orientador deste trabalho de mestrado e outras fontes de busca eletrônicas também compõem a revisão bibliográfica.

Em razão da maior proximidade entre o SCPM com universidades, laboratórios de pesquisa e indústrias alemãs, e devido ao grande avanço do país quanto a Indústria 4.0, se optou por utilizar a abordagem alemã neste trabalho.

Posto isto, para a pesquisa sobre o tema “padronização na Ind. 4.0” foram utilizados os sites da *Plattform Industrie 4.0* e ZVEI. Em ambos os sites, se encontram documentos oficiais da iniciativa.

Modelos e ferramentas para avaliação de maturidade de sistemas de manufatura também possuem grande impacto para o desenvolvimento deste trabalho, no entanto há dois estudos publicados em 2017 [61] e 2019 [62] com o intuito de apresentar uma revisão da literatura e analisar os modelos até então desenvolvidos. Eles deram as diretrizes para o estudo sobre o tema.

Paralelamente foram analisados diferentes métodos de pesquisa que melhor se adequassem para o tipo de estudo proposto, resultando na escolha da DSR, para o desenvolvimento deste trabalho.

Durante essas pesquisas, foi definido o cenário de aplicação (Etapa 3 do método de pesquisa, Figura 17), no qual foi determinado o projeto de aplicação em uma empresa multinacional de manufatura parceira do SCPM.

O projeto foi desenvolvido e validado na empresa e deu a base para o desenvolvimento do método de planejamento de sistemas inteligentes, de acordo com os requisitos da Indústria 4.0. Estas atividades representam a Etapa 4, Projeto do Artefato, sendo que o artefato desenvolvido foi o método para planejamento da Ind.4.0.

Para o desenvolvimento deste método, foram estudadas as diretrizes e melhores práticas para a gestão de projetos, Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®), conteúdo desenvolvido pelo *Project Management Institute* (PMI) [74].

O guia identifica um conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos que podem ser utilizados para projetos de Indústria 4.0 por trazerem fatores

como mapeamento do sistema atuais, análise dos processos internos da organização e considera práticas para mudanças de estratégias de negócio.

Por se tratar de uma prática, o PMBOK precisa ser adaptado para atender às necessidades de cada projeto [74], por isso ele não trata sobre como realizar a modelagem de um sistema inteligente, e nem das especificidades e complexidades específicas da Indústria 4.0, que são abordadas em roteiros de implementação [65], modelos [3] e arquiteturas [55] que apoiam o processo de implementação da Ind. 4.0 mas que variam entre a generalização e especificidade dos projetos desenvolvidos até o momento. Portanto, eles podem ser tratados como ferramentas indispensáveis para projetos de implementação da Ind. 4.0, mas são inadequadas para se utilizar sozinhas.

Para desenvolver o método buscou-se associar as diretrizes para o gerenciamento de projetos, com as ferramentas da Ind. 4.0. No entanto apenas a combinação entre elas ainda foi considerada inadequado uma vez que a Indústria 4.0 envolve sistemas de software que interagem em tempo real com um mundo físico extremamente complexo, muitas vezes imprevisível, interconectado de maneiras complexas e diversas.

Para solucionar este impasse, foram estudadas e analisadas metodologias para o desenvolvimento de sistemas de informação [72] e metodologias para a modelagem e análise de softwares e sistemas embarcados [75].

Para a modelagem de sistemas inteligentes, é necessário a descrição formal das propriedades do ambiente analisado por meio de linguagens técnicas como UML, AutomationML, JSON [44]. O UML foi definido como a linguagem utilizada neste trabalho pois ele é uma ferramenta que possui modelos específicos para representação de casos de uso em linguagem de usuário e está de acordo com o escopo apresentado por Dennis et al [72] e Selic e Gérard [75].

Como foi apresentado no método de pesquisa, a Etapa 4 está associada ao Ciclo de Rigor, de Projeto e de Relevância.

O Ciclo de Rigor atuou principalmente quanto à definição dos requisitos da Indústria 4.0, das necessidades e especificações de um sistema inteligente e dos

métodos para desenvolvimento e modelagem destes ambientes. Portanto, durante o projeto do artefato, as dúvidas e problemas encontrados eram sanados durante o aprofundamento da base de conhecimentos, aplicados em parceria com conhecimentos existentes. Este ciclo trazia novas descobertas e soluções acadêmicas aprofundadas para problemas reais encontrados durante o trabalho.

O Ciclo da Relevância fundamentou a definição dos requisitos gerais encontrados em conjunto com a empresa, as necessidades do sistema e desenvolvimento dos cenários de aplicação. Portanto a mestrandia com o avanço do trabalho, compreendia melhor o ambiente de atuação na empresa, gerando um contexto de aplicação mais preciso, que impactava nos resultados obtidos com o método. Por exemplo, durante a aplicação do método de pesquisa na empresa, percebeu-se a importância de dividir o plano de trabalho em pequenos projetos devido às restrições de recursos e tempo.

Em várias circunstâncias os resultados desse método geravam novas dúvidas e problematizações quanto ao cenário de aplicação, que deviam ser analisados e conseqüentemente impactavam o projeto do sistema que deveria ser novamente analisado. Com este ciclo, novas etapas e atividades eram adicionadas, melhoradas ou modificadas no método para planejamento de projetos de Ind. 4.0 de modo a se obter os resultados finais apresentados neste trabalho. O resultado da análise de cada subprojeto e conseqüente impacto no método para planejamento de soluções da Ind. 4.0 foram permitidos pelo Ciclo de Projeto.

O modelo foi validado a partir da implementação do mesmo na empresa. Ao final foi obtido as conclusões finais sobre o trabalho.

## 4 Método para o planejamento de um Demonstrador de Indústria 4.0

Com o objetivo de apoiar as empresas na transformação digital e orientá-las estrategicamente a fazer parte da Indústria 4.0, foi elaborado e proposto, com base na revisão bibliográfica, um método que oriente as melhores práticas e passos para que a empresa planeje da melhor forma possível, as fases e estratégias de transformação que a guiem para a Indústria 4.0.

O método tem como foco o projeto para implementação de um Demonstrador de Indústria 4.0, que possui a representação simplificada de um sistema real de manufatura, mas com grande impacto e importância para o teste e análise de tecnologias e modelos de negócio inovadores.

O caminho para a Indústria 4.0 será diferente para cada corporação devido às diferenças em seus processos, ambiente e objetivos, no entanto, o método proposto nesse trabalho, Figura 19, busca fornecer orientações estratégicas que possam ser replicados em cenários e ambientes diferentes, respeitando as necessidades e objetivos específicos de cada projeto de Demonstrador.

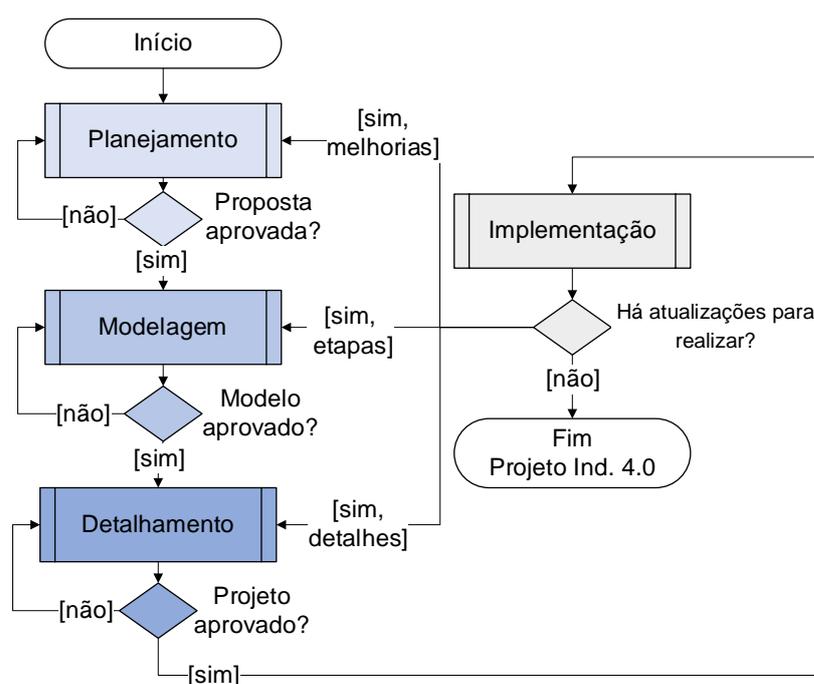


Figura 19: Método de planejamento de projetos de Indústria 4.0

Ele é composto por 4 etapas: Planejamento, Modelagem, Detalhamento e Implementação. Essa divisão foi proposta para facilitar a implementação de projetos relacionados ao tema.

O método mescla técnicas de engenharia de produção para metodologias de gestão de projetos que apoiam a organização, o gerenciamento e a criação de ideias para atividades relacionadas a um projeto pré-definido com ferramentas e metodologias da Indústria 4.0, como a avaliação de maturidade.

## 4.1 Planejamento

Um projeto para implementação de um Demonstrador de Indústria 4.0 é iniciado quando se identifica a necessidade ou oportunidade de projeto, **Início**. A própria empresa pode identificar um problema ou oportunidade e propor para que um time o desenvolva. O projeto deve ser discutido e analisado inicialmente, na etapa de **Planejamento**, Figura 20.

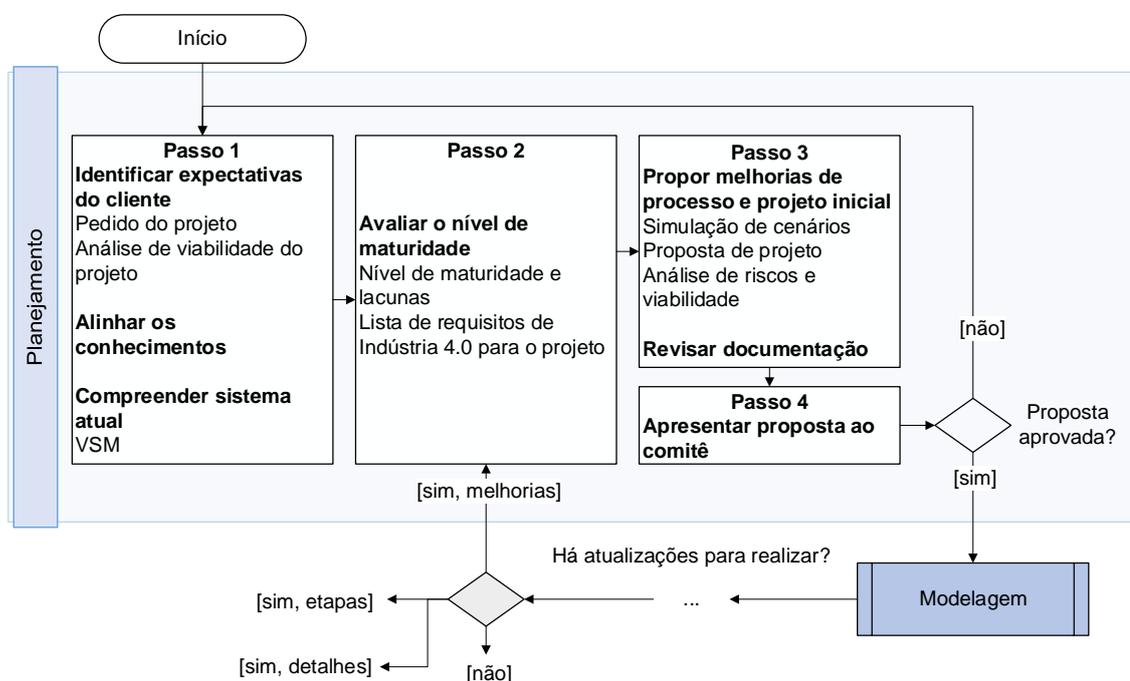


Figura 20: Planejamento

O Planejamento tem o objetivo de compreender os objetivos do projeto e o ambiente em que ele está inserido, e conceber uma proposta inicial do

Demonstrador desejado, incluindo as etapas gerais que o projeto consiste e uma análise inicial dos recursos e investimentos necessários e riscos envolvidos.

#### 4.1.1 Passo 1: Identificar expectativas e compreender o sistema

A primeira atividade é **Identificar as expectativas do cliente** e geralmente é representada por uma reunião entre gestores da empresa, e responsáveis pelo desenvolvimento do projeto (acadêmicos e equipe interna da empresa) e tem o objetivo de descrever os motivos, as expectativas e os requisitos do cliente.

Durante a reunião, são discutidos os objetivos estratégicos para os próximos anos, as tecnologias e sistemas já implementados (ou pretendido implementar), como são usadas essas tecnologias na empresa e se há expectativas (a curto, médio ou longo prazo) de integrar parceiros (clientes, fornecedores) ao projeto.

As respostas a essas perguntas fornecem as diretrizes que irão orientar todo o projeto e resultam no documento, **Pedido do projeto**, e define o que a empresa espera do sistema final. O pedido inclui, o nome do projeto, responsáveis, as necessidades de negócios (razões para iniciar o projeto), requisitos de negócio (as habilidades e competências que o sistema irá prover à empresa), o valor de negócio (os benefícios que o sistema irá criar para a empresa) e as restrições e questões especiais (questões relevantes, como tempo e custos máximos).

Esse documento também deve incluir uma **Análise de viabilidade do projeto**, de modo que sejam identificadas as forças, fraquezas, oportunidades, e ameaças relacionadas ao projeto. Esta análise pode ser realizada com o uso de várias ferramentas como a Matriz FOFA [76].

Durante as primeiras reuniões, também deve ocorrer um **Alinhamento dos conhecimentos** e conceitos da Indústria 4.0. O alinhamento é essencial pois muitos profissionais não especializados no tema podem ter expectativas excedidas ou errôneas quanto ao que ela pode oferecer. Nestes encontros, deve ser definido uma equipe inicial que irá acompanhar e desenvolver o projeto.

Com o apoio da equipe, a atividade “**Compreender o sistema atual**” deve ser realizada. Nela é mapeado os processos produtivos e compreendido, de forma clara, como a unidade de negócio, os processos e operações são realizadas, além de identificar os desperdícios de produção existentes. Um modelo do sistema existente esclarece o que o sistema existente faz e pode ajudar a identificar pontos fortes e fracos do mesmo [77].

Uma ferramenta amplamente utilizada para analisar o fluxo de valor e identificação de perdas é o **VSM** (Mapeamento do Fluxo do Valor). O VSM foi adaptado em estudos atuais incluir também o fluxo de materiais de produtos, recursos e pessoas, e o fluxo de informações relacionado ao controle de produção, aos produtos, e ao ambiente. Portanto a atividade de mapeamento do sistema atual se tornou extremamente complexa, mas essencial para o planejamento do processo futuro. Para este caso, pode ser utilizado o VSM 4.0, como proposto por Hartmann et al. [78].

Outras ferramentas inclui fluxogramas, folhas de verificação, diagrama de causa e efeito e matriz de desconexões [65], entrevistas e conversas com funcionários, diagramas de fluxo de dados (DFD) e fluxogramas [72].

Nesta atividade, também devem ser identificados os desperdícios existentes no processo, considerando questões de falhas de comunicação ou troca de informação. Caso haja perdas, elas devem ser solucionadas, pois um projeto de Indústria 4.0 deve ser aplicado apenas em sistemas enxutos, de modo que não haja digitalização de perdas, pois que esta ação pode mascarar as mesmas.

#### **4.1.2 Passo 2: Avaliar a maturidade do sistema**

Em seguida é realizado a atividade “**Avaliar o nível de maturidade**” do sistema, responsável por nortear todo o planejamento de um sistema de Indústria 4.0, pois permite que a empresa defina em que nível de maturidade está e em que nível quer chegar, com base nos objetivos, benefícios e expectativas dos clientes que delimitam qual nível de maturidade se espera alcançar com o projeto. A diferença entre o nível de maturidade desejado e o atual representam as lacunas

para implementação da Ind. 4.0. Gráficos tipo radar são recomendados para representar a diferença e avanço no nível de maturidade [62].

Para este trabalho foi aplicado a classificação determinada no modelo de maturidade proposto por Schuh et al. (2017) [3]. Vale ressaltar que um projeto de sucesso deve trabalhar todas as áreas funcionais e estruturais (Figura 14) em paralelo, para que a empresa avance na Indústria 4.0 de forma completa. No entanto esta integração está além do escopo deste trabalho, cujo foco é a área estrutural Recurso aplicados às áreas funcionais de produção e logística para alcançar o grau de maturidade Visibilidade.

A área estrutural **recurso** se refere ao que é fisicamente tangível e inclui pessoas, máquinas, equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final [3].

Os recursos são essenciais para a criação de valor nas empresas de manufatura. No grau de maturidade Visibilidade, eles são providos com tecnologias embarcadas que geram sistemas físicos cibernéticos (CPS), de modo que os objetos sejam conectados entre si e com os sistemas de informações relevantes fornecendo visibilidade sobre o que ocorre no ambiente de produção, e resultando na criação de uma sombra digital. Os dados reais do chão de fábrica são capturados por sensores, processados em informações e usados para tomar decisões, cujas medidas são implementadas por sistemas de assistência e/ou atuadores nos CPSs. Durante todo o processo de criação de valor (produção), os produtos e materiais devem ser alocados a um pedido específico, permitindo que as informações do status e progresso do pedido, e o cumprimento de metas sejam acompanhados e monitorados em tempo real e disponibilizados a qualquer hora e em qualquer lugar.

Essa área estrutural possui dois princípios, capacidade digital e comunicação estruturada que contam com competências específicas, como pode ser observada na Figura 21.

As funções e características necessárias aos recursos foram compiladas, através da análise do estudo publicado por Schuh et al. [3] para apoiar a avaliação da maturidade do sistema.

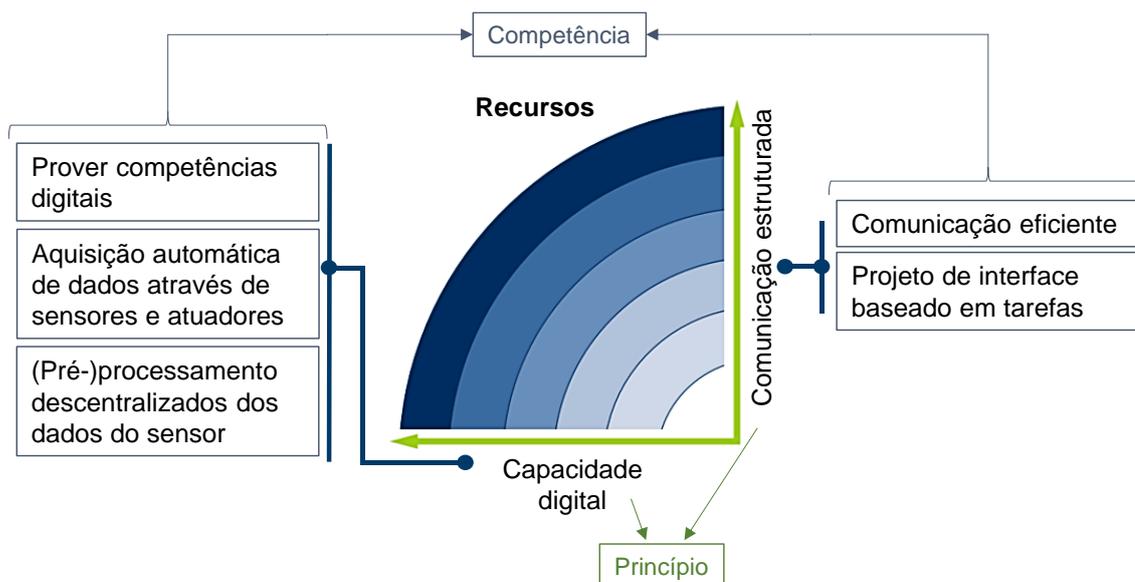


Figura 21: Princípios e competência dos Recursos (adaptado de [3])

O princípio **capacidade digital** representa a capacidade dos recursos em trabalharem e aprenderem com base em informações obtidas em tempo real. Os recursos devem ter uma representação virtual do mundo físico e os seres humanos devem representar um papel fundamental em garantir que o sistema e tecnologias estão corretamente configuradas e na identificação de potenciais melhorias.

- *Competência 1: Prover competências digitais*, Figura 22, tem foco nas competências e habilidades que os colaboradores devem desenvolver para orquestrar, acompanhar e tomar decisões quanto ao sistema inteligente. A figura completa pode ser observada no Anexo 1.

No estágio de Visibilidade, os operadores devem possuir conhecimentos sobre Lean 4.0, Indústria 4.0, segurança de TI, técnicas de processamento de dados e sobre Sistemas Reconfiguráveis de Manufatura e competência para usar e monitorar as tecnologias (de informação, comunicação, visualização ou outras) incorporadas; interpretar, compreender e interagir com dados da sombra digital e com os aplicativos e sistemas disponíveis; tomar decisões de forma descentralizada baseada em dados, e ter pensamento criativo.

- *Competência 2: Aquisição automática de dados através de sensores e atuadores* (Anexo 2) tem foco na implementação de tecnologias

embarcadas no chão de fábrica para criar CPSs e coletar dados de forma a criar e alimentar a sombra digital e monitorar os processos.

<b>Recursos</b> <b>Princípio: Capacidade digital</b>	
<b>Competência 1: Prover competências digitais</b>	
1 - Informatização 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento básico sobre Gestão da Produção</li> </ul>
2 - Conectividade 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento sobre metodologias de melhoria contínua e Lean SixSigma; e sobre aplicações interdisciplinares básicas de TI.</li> <li>• Competência de possuir responsabilidades individuais, respeitando uma hierarquia, se adaptar a diferentes trabalhos rapidamente e trabalhar baseado em dados do processo.</li> </ul>
3 - Visibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento sobre Lean 4.0, Indústria 4.0, segurança de TI, técnicas de processamento de dados e sobre Sistemas Reconfiguráveis de Manufatura.</li> <li>• Competência para usar e monitorar as tecnologias (de informação, comunicação, visualização ou outras) incorporadas; interpretar, compreender e interagir com dados da sombra digital e com os aplicativos e sistemas; tomar decisões descentralizadas baseada em dados, pensamento criativo.</li> </ul>

Figura 22: Competência 1 - Prover competências digitais

No estágio de Visibilidade, é necessário que estejam incorporadas tecnologias de identificação única (podendo ser IPs) aos recursos e estações, além de sensores para obter dados do processo e de parâmetros de máquina para controle de processo, recursos, qualidade, operadores e de manutenção, sendo a aquisição dos dados realizada de forma automática, com periodicidade de atualização em tempo real (milissegundos).

Também deve ser implementada tecnologia para rastreabilidade de produtos e recursos e atuadores para implementação de decisões pré-programadas para parâmetros definidos. O objetivo principal é obter dados para gerar uma sombra digital da fábrica em tempo real.

- *Competência 3: (Pré) processamento descentralizado de dados dos sensores (Anexo 3)* , com foco na implementação de sistemas embarcados e tecnologia de processamento descentralizado nos CPSs para tomada de decisão autônoma.

No estágio de Visibilidade, é necessário que haja controle e processamento dos dados, vinculado aos sistemas de gestão, que são integrados uns com os outros e com a sombra digital. Os dados de parâmetro de máquina e produto podem ser processados de forma descentralizada, nos próprios recursos e produtos, e as respostas do processamento devem ser atualizadas e armazenadas no banco de dados ou sistema de gestão central. Os recursos e produtos tem capacidade de tomada de decisão quanto a situações padronizadas e definidas de acordo com parâmetros específicos. A tomada de decisão quanto aos colaboradores dependerá do grau, dificuldade ou importância e impacto da decisão. Neste ambiente, uma pessoa ou um grupo de pessoas pode ser responsável pela decisão do procedimento a ser tomado

A **comunicação estruturada** representa a garantia de qualidade dos dados e informações geradas, e uso de TIC para criar redes temporárias que permitam a interação e comunicação eficiente, estruturada e descentralizada entre pessoas (H-H), entre máquinas (M-M) e entre pessoas e máquinas (H-M) por meio das respectivas interfaces.

- *Competência 1: Comunicação eficiente* (Anexo 4), representa o controle das atividades, comunicação e tomada de decisão dos recursos, que deve ser documentada e rastreada, sem redundância e habilitada de maneira a atender às necessidades das partes interessadas relevantes.

Na Visibilidade, deve haver gestão de acesso a dados, com o uso de perfis e credenciais únicas que permita o acesso a dados disponibilizados na hora, lugar, sem redundâncias e atualizados em tempo real, com informações dinâmicas. Toda a comunicação entre colaboradores (H-H) deve ser rastreada e armazenada em um banco de dados. A comunicação MH e MM é passiva, orientada por funções pré-programadas.

- *Competência 2: Projeto de interface baseado em tarefas* (Anexo 5). A comunicação relacionada aos objetos depende de tecnologias de informação e visualização essenciais para permitir que diferentes recursos tecnológicos interajam entre o mundo real e o virtual.

No estágio de Visibilidade são utilizados dispositivos móveis, IHM, e tecnologias de visualização, como realidade aumentada e assistida, para gerar uma interface de usuário amigável, além de tecnologias de auto identificação, de descrição e de reconhecimento de atributos para materiais e objetos. Deve haver conectividade entre sistemas de controle e sensores por meio de redes *wireless* e/ou *wired* e acesso remoto aos dados e informações gerados na sombra digital, que permitam a visualização de informações do processo de produção e de parâmetros de máquina.

As características apresentadas acima descrevem um nível de maturidade de forma genérica e não pode ser aplicada diretamente para análise de um sistema real. Para sua aplicação, as características devem ser detalhadas, em uma planilha, por exemplo, de forma que seja possível aplicá-las ao ambiente real, e determinar se as mesmas são ou não cumpridas. É importante ressaltar que cada nível de maturidade possui características que fornecem a base para os níveis subsequentes, e, portanto, para que o sistema alcance a Visibilidade, ele tem que também cumprir com os requisitos e características dos níveis de Informatização e Conectividade.

A completude de cumprimento das características indica o nível de maturidade atual e o desejado futuro, que resulta no documento de **Nível de Maturidade e lacunas** e no gráfico radar.

A análise do nível de maturidade, fornece a base para determinar os requisitos de Indústria 4.0 desejados para o projeto. Os requisitos fornecem uma declaração clara do que o projeto deve incluir para alcançar a visão dos clientes, além de ajudar na definição do escopo do projeto. Um requisito é uma declaração do que o sistema deve fazer ou de quais características ele precisa ter [72].

Os modelos de arquiteturas e dados padronizados, como o RAMI 4.0 apresentado no Capítulo 2.2 são essenciais nesse momento, pois fornecem diretrizes e embasam a definição de requisitos mínimos para implementação de cenários e características da Indústria 4.0.

Como resultado, é desenvolvido um documento ***Lista de requisitos de Indústria 4.0 para o projeto***, os quais são apoiados, esclarecidos e validados durante as próximas atividades.

#### **4.1.3 Passo 3: Definir proposta de projeto inicial**

Com as informações sobre o sistema atual e requisitos do sistema, a equipe deve analisar e ***Propor melhorias de processo*** para as lacunas identificadas e também ***propor um projeto inicial***, que devem ser discutidas e analisadas durante workshops, de modo a definir a(s) melhor(es) opção.

São analisados três fatores principais: as mudanças físicas que ocorrerão (por exemplo no processo produtivo, nos recursos e produtos, ou layout), as mudanças digitais (comunicação, troca de informação e atualização de dados entre sistema físico e virtual), as mudanças no modelo de negócio e as tecnologias que serão implementadas para permitir o novo cenário.

As soluções que modificam o ambiente físico podem ser simuladas em softwares específicos que permitam a simulação de soluções parciais, análise, visualização e otimização de sistemas e processos de produção, e fluxo de materiais. O *software* Tecnomatix Plant Simulation, desenvolvido pela Siemens PLM Software, pode ser utilizado para este fim. O resultado é documentado na ***Simulação dos cenários***.

Com base em todas estas informações, é realizado uma **Proposta de projeto** inicial. Nela são definidas as macro etapas principais do projeto, e a ordem com a qual elas serão desenvolvidas e implementadas. Paralelamente devem ser analisados com detalhes, a viabilidade e os riscos das etapas e procedimentos a serem implementados no sistema produtivo.

Esta análise é documentada em ***Análise de riscos e viabilidade*** e inclui a análise de viabilidade técnica (há os recursos necessários para implementar o projeto?), econômica (qual o custo x benefício do projeto?) e organizacional (o projeto está alinhado com a empresa e seus funcionários?). Além de avaliar e

mensurar os riscos envolvidos. Conforme o projeto avança, a compreensão do ambiente e do projeto aumenta. Portanto pode ser necessário **revisar a documentação** para que modificações e atualizações sejam feitas.

#### 4.1.4 Passo 4: Apresentar proposta ao comitê

Por fim a proposta inicial do projeto do sistema é apresentada e discutida com o comitê de aprovação na atividade “**Apresentar proposta ao comitê**”. Sendo que o comitê é composto pela equipe do projeto e os clientes, e é responsável por analisar as soluções propostas e a definir a melhor opção para implementação. Esta atividade representa o fim do passo de **Planejamento**.

O **Planejamento** é um passo condicional. Nele a proposta é apresentado pela primeira vez ao comitê de decisão, para determinar se o projeto é aprovado ou não. Caso ele seja aprovado segue para o próximo passo **Modelagem**. Caso contrário, o fluxo de atividades retorna para o **Passo 1**, para revisão das atividades, até que seja aprovado pelo comitê.

No método há o passo condicional “**Há atualizações para realizar?**” e é ativado após a Implementação. Uma das variantes desse processo decisório será a decisão de que há melhorias a serem implementadas no projeto, e, portanto, o fluxo de atividades do método retorna para o Passo 2 do planejamento. Esta decisão será melhor descrita no Capítulo 4.4.3.

## 4.2 Modelagem

O passo de **Modelagem**, Figura 23, expande a proposta do projeto e avança para um entendimento sobre quais passos serão necessários para que a solução seja implementada no sistema produtivo, para torná-lo Indústria 4.0.

Nele um roteiro estratégico é proposto e as decisões estratégicas sobre o sistema são definidos. O roteiro é um plano estratégico para implementação, no qual o projeto principal é dividido em várias etapas que representem os passos

para implementação a curto, médio e longo prazo. Também são modelados diagramas de processo e dados, indicando como o sistema deve operar, e quais dados são trocados e recebidos ao longo do processo inteligente.

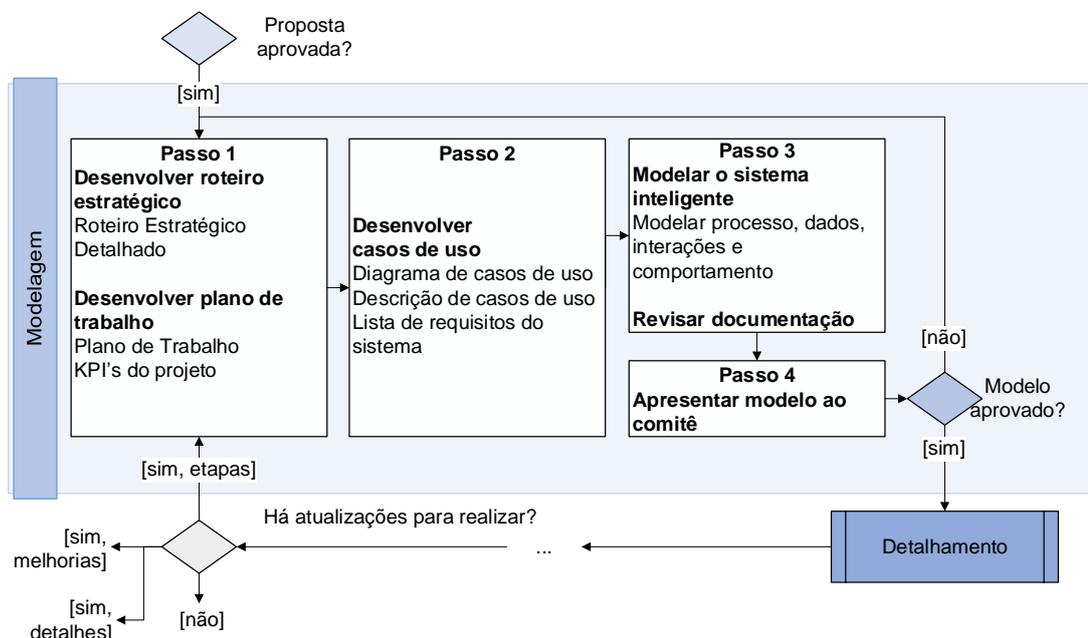


Figura 23: Modelagem

#### 4.2.1 Passo 1: Desenvolver estratégia e plano de trabalho

A implementação das transformações da Indústria 4.0 ocorre em etapas [61], que devem respeitar limitações e dependências e podem ser desenvolvidos em paralelo. As relações e dependências entre as etapas devem ser analisadas pela equipe e podem ser representadas, por exemplo, em fluxogramas [74].

As primeiras etapas podem incluir as funções mais importantes e fundamentais para o funcionamento do sistema e pode ser considerada uma versão preliminar do sistema, com o objetivo de fornecer rapidamente, o valor comercial esperado. A atividade de definir as etapas de implementação do projeto de Indústria 4.0 representa a visão e planejamento do projeto a longo, médio e curto prazo, e compõem a atividade de **desenvolver um roteiro estratégico**.

Este roteiro tem por objetivo analisar e planejar consistentemente a transformação de modelos de negócios, avaliar o impacto da tecnologia, facilitar

o desenvolvimento colaborativo de visão estratégia e facilitar o gerenciamento e rastreamento de todas as atividades relacionadas ao processo de transformação para o setor quanto à Ind. 4.0 [60].

Isto resultará no desenvolvimento dos passos para implementação do projeto, compondo o **Roteiro estratégico**. O roteiro deve garantir que todos os requisitos sejam considerados e incorporados durante o projeto, e uma estratégia clara para implementação seja desenvolvida.

O roteiro estratégico deve estar alinhado a boas práticas da área de gestão de projetos. Atualmente há várias metodologias ágeis para aplicação. Dentre elas, destaca-se o Scrum, que é uma estrutura para fazer projetos alocando tarefas em pequenos estágios chamados *sprints*, e o Kanban, um sistema de agendamento para gerenciar o fluxo de trabalho por meio visual [79].

Ao planejar o roteiro estratégico, muitas informações necessárias para o **desenvolvimento de um plano de trabalho** estarão definidas, auxiliando na criação de um **Plano de trabalho** que descreve os passos que a equipe do projeto irá desenvolver o sistema inteligente. Ele deve respeitar boas práticas de gestão de projetos e pode ser auxiliado pela ferramenta MS Project®.

O plano de trabalho registra e acompanha todas as tarefas essenciais para o desenvolvimento e realização do projeto. O nível de detalhe e a quantidade de informações capturadas no plano de trabalho dependem das necessidades do projeto (os detalhes geralmente aumentam à medida que o projeto avança). Ele fornece como resultado final um quadro estratégico para as ações concretas [80].

Junto com o Plano de trabalho, também devem ser definidos **Indicadores de Desempenho (KPIs)** para acompanhar e direcionar o andamento do projeto e avaliar os resultados do mesmo. Ferramentas e técnicas que podem apoiar esta fase são os Indicadores Balanceados de Desempenho (*Balanced Scorecard* em inglês - BSC), e o *Brainstorming* [65].

### 4.2.2 Passo 2: Desenvolver Caso de Uso

Em seguida, a tarefa **Desenvolver casos de uso** é iniciada. Nela, as tarefas dos usuários e as interações que ocorrem entre eles podem ser esclarecidas com **Diagramas de casos de uso UML** [77,72].

Os casos de uso (UC) explicam, descrevem e documentam as atividades executadas pelos usuários, como ele irá interagir com o sistema, e como o sistema irá responder a essas interações. Os UC ajudam a equipe de desenvolvimento a entender mais completamente as etapas envolvidas na realização dos objetivos do usuário. Uma vez criados, os UC geralmente podem ser usados para derivar requisitos funcionais e não funcionais mais detalhados para o novo sistema [72], gerando uma **Lista de requisitos do sistema**.

Um procedimento para desenvolver casos de uso, que pode ser adotado, é o proposto por Alan et al. [80]. Segundo ele, a primeira etapa é listar quais atores (neste trabalho são chamados de usuários) irão interagir com o sistema e quais objetivos, de cada ator, que o sistema apoiará. Em seguida é definido o gatilho que inicia o caso de uso, esboçado o caso de sucesso e descrito as etapas que o compõem. Depois, todas as condições de falha potenciais a acontecer nesse sistema são identificadas, listadas e vinculadas ao caso de sucesso. Por fim são analisados e definidos os cenários paralelos que podem ocorrer.

Durante o seu desenvolvimento, é recomendado entrevistar e realizar workshops com os usuários (ou cliente) como um meio de esclarecer e especificar o que deve ser implementado, como o sistema vai se comportar, quais são os usuários e determinar os requisitos funcionais e não funcionais do novo sistema.

### 4.2.3 Passo 3: Modelar sistema

Os casos de uso fornecem a base (de compreensão e informações) para **modelar o sistema inteligente**. O modelo é a uma descrição da realidade que representa uma seleção de características do mundo real relevantes para o propósito para o qual o modelo foi construído [81].

A linguagem de modelagem unificada (ou Unified Modeling Language em inglês) é considerada uma linguagem padrão para modelagem orientada a objetos. A UML suporta 13 tipos de diagramas, permitindo, a criação de vários modelos de sistema sob diferentes perspectivas, que podem trazer maior ou menor nível de detalhamento, e diferentes focos de análise do sistema em desenvolvimento [82]. Dentre os 13 diagramas, cinco deles podem representar o essencial de um sistema. Sendo eles: diagrama de atividades, casos de uso (apresentado no tópico anterior), diagramas de sequência, de classe e de estado [77].

O diagrama UML de atividade gera um modelo do processo, usado para descrever, de forma organizada, as atividades que os usuários fazem. É uma maneira gráfica de representar como um sistema de negócios deve operar. Ele ilustra os processos ou atividades que são executadas e os dados que se movem entre eles. Outra ferramenta é o Diagrama de fluxo de dados (DFD) [72] [77].

Diagramas UML de sequência, são usados principalmente para modelar a sequência de interações entre atores e objetos e entre os objetos do sistema [77] para cumprir uma tarefa específica, tendo o foco na ordem cronológica das mensagens trocadas durante as interações entre os atores, objetos e sistema [81]. Eles são usados na identificação de novos objetos participantes e comportamentos ausentes [83] e de problemas de comunicação que possam surgir, auxiliando a equipe em compreender se a estrutura de sistema proposta fornecer o desempenho e a confiabilidade necessários ao sistema [77].

O modelo de dados descreve como os dados são obtidos, criados e usados durante os processos. Ele apresenta a organização lógica dos dados sem indicar como os dados são armazenados, criados ou manipulados. Uma ferramenta para uso é o Modelo entidade relacionamento (ERD) [72], diagramas UML de Classe que mostram as classes de objetos no sistema e as associações entre essas classes [77] e diagrama UML de máquina de estados que mostram como o sistema reage a eventos internos e externos [77] [72].

Para garantir que um modelo permaneça claro e compreensível, não é necessário modelar todos os detalhes do sistema, mas incluir apenas o que for relevante e essencial para o momento e o sistema a ser implementado. Além

disto, a complexidade e detalhamento do sistema modelado aumentam conforme a compreensão do sistema aumenta [82]

#### 4.2.4 Passo 4: Apresentar modelo ao comitê

Por fim o modelo do sistema e o roteiro estratégico são apresentados e discutidos com o comitê de aprovação na atividade “**Apresentar modelo ao comitê**”, para que ele compreenda o que se propõem implementar. O objetivo é explicar o sistema em detalhes moderados para que os usuários, gerentes e principais tomadores de decisão entendam claramente a proposta, possam identificar quaisquer modificações e melhorias necessárias e sejam capazes de tomar uma decisão sobre se o projeto deve continuar. Neste momento o comitê pode revisar a viabilidade e os riscos do projeto de forma a analisar se o valor de negócios continua positivo.

A **modelagem** é um passo condicional e depende da decisão do comitê, para determinar se o modelo desenvolvido do sistema é aprovado ou não. Caso ele seja aprovado segue para o próximo passo **Detalhamento**. Caso contrário, o fluxo de atividades retorna para o **Passo 1** da **Modelagem**, para revisão das atividades, até que seja aprovado pelo comitê.

No método há o passo condicional “**Há atualizações para realizar?**” e é ativado após a Implementação. Uma das variantes desse processo decisório é que haja etapas a serem implementadas no projeto, e, portanto, o fluxo de atividades do método retorna para o **Passo 1** da **Modelagem**. Esta decisão será melhor descrita no Capítulo 4.4.3

### 4.3 Detalhamento

Aprovado o modelo do projeto, o mesmo é validado na etapa de **Detalhamento**, Figura 24, para que seja determinado exatamente como o sistema funcionará em termos de hardware, software e infraestrutura de rede que serão

implementados, além de toda documentação técnica necessária para que o sistema funcione e seja implementado de forma segura, confiável e escalável.

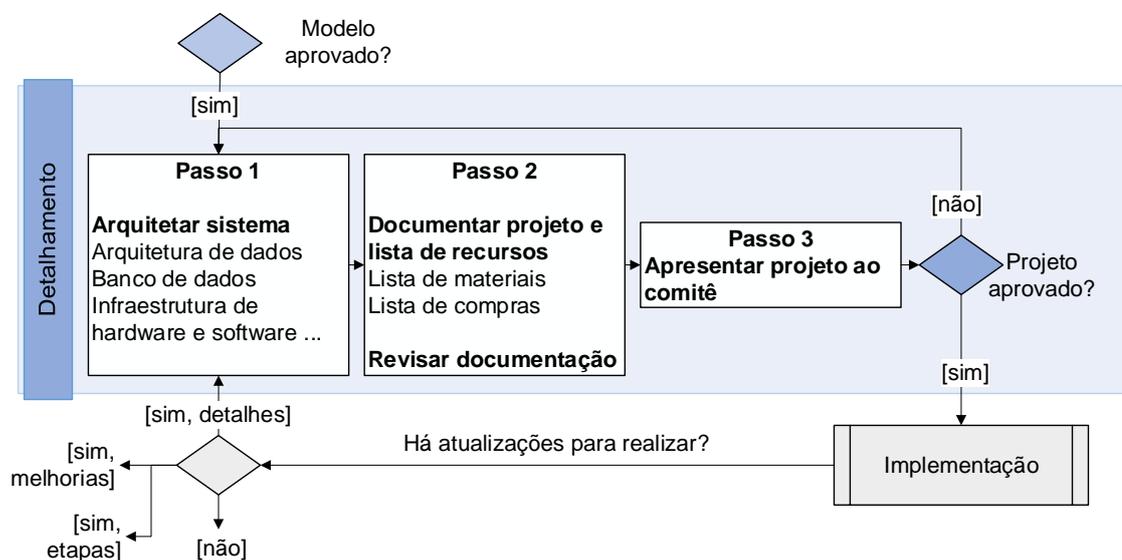


Figura 24: Detalhamento

Esta etapa busca anteceder todas as decisões e detalhes para evitar problemas não programados durante a implementação e requer uma equipe técnica adequada e, portanto, ela foi apenas acompanhada durante o trabalho.

#### 4.3.1 Passo 1: Arquitetar sistema

A atividade **Arquitetar sistema** representa a definição e detalhamento da arquitetura do sistema inteligente, descreve as especificações de hardware, software e do ambiente de rede do sistema. Ela é orientada pelos requisitos não funcionais e funcionais, e irão indicar informações que influenciam diretamente os quesitos técnicos do sistema, por exemplo: para planejar o desempenho do novo sistema deve-se definir a velocidade da operação, qual deve ser sua capacidade, disponibilidade, confiabilidade e questões de segurança.

É modelado a infraestrutura de rede, design de interface para usuário, definição de formulários e relatórios que o sistema vai usar, especificados o banco de dados, documentos, programas a serem desenvolvidos, e o plano ou roteiro de como os recursos do sistema serão navegados. Além das tecnologias de chão

de fábrica para implementação nos recursos e produtos, com especificações detalhadas dos sensores, atuadores e dispositivos necessários para aplicação.

Nesta atividade também é determinado se algum aplicativo ou software a ser implementado será construído do zero pela equipe, comprado e personalizado ou terceirizado. Cada alternativa tem vantagens e desvantagens que devem ser analisadas e julgadas pela equipe por meio dos resultados da análise de viabilidade (técnica, econômica e/ou organizacional).

#### **4.3.2 Passo 2: Documentar projeto e sistema**

Todas as definições e detalhamentos formam uma documentação oficial com especificações da versão do subprojeto em implementação, como representado pela atividade ***Documentar projeto e lista de recursos***. Nela são definidos a pessoa, time ou empresa que irá criar, desenvolver ou implementar o software, aplicativo, função ou tecnologia no sistema inteligente.

Todos os recursos e serviços necessários para esta implementação compõem a ***Lista de materiais e Lista de compras***, responsável por orientar a equipe na compra dos recursos e serviços necessários. A tendência de projetos complexos, é que o sistema em desenvolvimento tenha descrições e modelos que iniciem com poucos detalhes, mas conforme o entendimento sobre o comportamento e funcionamento do sistema avança, eles sejam aperfeiçoados, revisados e melhorados. Outro documento que pode ser gerado deste passo é o levantamento de mão de obra necessária para desenvolver, programar, implementar... as entregas necessárias. Qualquer documentação desenvolvida, cujas informações sejam julgadas válidas de revisão ou atualização, devem ser consideradas nesta etapa.

#### **4.3.3 Passo 3: Apresentar projeto ao comitê**

Finalizada a documentação, deve ocorrer a próxima atividade ***Apresentar projeto ao comitê***, onde o projeto é revisado com o comitê de decisão, com o

objetivo de aperfeiçoar, esclarecer ou aprimorar o projeto, as informações, e os documentos desenvolvidos. Também deve-se analisar o valor comercial do projeto, de modo a garantir que sua implantação ainda seja positiva e traga vantagens reais para a empresa. Se o comitê identificar modificações e melhorias, elas deverão ser realizadas antes da implementação.

Este é um passo condicional e depende da decisão do comitê, para determinar se o projeto é aprovado ou não. Caso aprovado, o projeto segue para o próximo passo **Implementação**. Caso contrário, o projeto retorna para o **Passo 1 da Detalhamento**, para revisão das atividades, até que seja aprovado pelo comitê.

No método há o passo condicional “**Há atualizações para realizar?**” e é ativado após a Implementação. Uma das variantes desse processo decisório é que haja detalhes a serem implementadas no projeto, e, portanto, o fluxo de atividades do método retorna para o **Passo 1 do Detalhamento**. Esta decisão será melhor descrita no Capítulo 4.4.3

#### 4.4 Implementação

O último passo é a **Implementação**, Figura 25, tanto física quanto digital, e muitas vezes é a que requer mais tempo para realização.

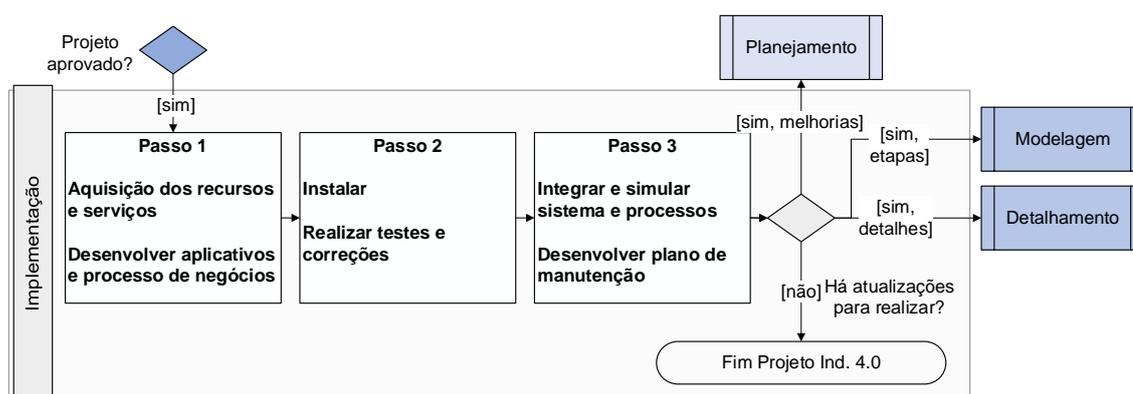


Figura 25: Implementação

#### 4.4.1 Passo 1: Adquirir recursos

A implementação física engloba hardware, sensores, atuadores e tecnologias do chão de fábrica, a digital representa o desenvolvimento, teste e implementação de softwares, sistemas e interfaces, e por fim a de novos processos de negócio, realizada pela gestão.

A primeira atividade é a **Aquisição dos recursos e serviços** para implementação. Em seguida deve ser realizada a atividade **Desenvolver aplicativos e processo de negócio**, que envolve tanto o desenvolvimento de aplicativos, como codificação de programa necessários ao sistema. Pelo fato deste trabalho focar no processo produtivo, não serão tratados métodos para desenvolvimento de projetos relacionados à cultura e/ou negócios. No entanto eles podem impactar na forma como o processo produtivo ocorrem.

#### 4.4.2 Passo 2: Instalar aplicativos e tecnologias

As tecnologias do novo sistema devem ser **instaladas** com conseqüente desinstalação do antigo sistema (caso haja essa necessidade). É necessário garantir que não haja qualquer tipo de falha no novo sistema, portanto são **Realizados testes e correções** julgados necessários antes da completa desinstalação de qualquer sistema antigo. E deve ser garantindo que o sistema esteja funcionando corretamente.

#### 4.4.3 Passo 3: Integrar sistema

Podem ser instalados mais de um aplicativo, software e tecnologias em paralelo. Todos eles, principalmente no cenário da Indústria 4.0, deverão ser integrados e os processos simulados antes da entrega final do sistema inteligente. Isto é representado pela atividade **Integrar e simular sistema e processos**. Por fim deve-se **desenvolver um plano para manutenção** e suporte deste novo sistema inteligente.

A Implementação é um passo condicional, com três possibilidades de resultado, que variam de acordo com a resposta para o processo decisório: “Há atualizações para realizar?”.

Se a resposta for **sim, etapas**, significa que o fluxo de atividades retorna para a etapa de **Modelagem**, e é iniciado todo o processo de modelagem e implementação de uma nova versão ou da próxima etapa do projeto.

Se a resposta for **sim, melhorias**, significa que o fluxo de atividades retorna para o passo de **Planejamento**, e melhorias são analisadas e implementadas em todo o projeto, incluindo desde as primeiras etapas do mesmo, isso pode ocorrer pois a compreensão do projeto como um todo foi aperfeiçoada e novas propostas ou melhorias (mesmo focado para o modelo de negócios) devem ser realizadas. É importante destacar que esta opção deve ser evitada pois quanto mais tardar uma mudança for realizada em um projeto, maior os custos envolvidos a ela.

No entanto, a implementação de melhorias também pode significar que todo o projeto planejado foi implantado, significando que se atingiu o nível de maturidade proposto, e será definido um novo patamar de maturidade a ser atingido e, portanto, todo o processo, aqui proposto, se repete.

Se a resposta for **sim, detalhes**, então o fluxo de atividades retorna para o passo de **Detalhamento**, para que melhorias, atualizações e novos modelos de arquitetura do sistema sejam realizados.

E por fim, se a resposta for **não**, significa que o projeto chegou ao fim “**Fim Projeto Ind. 4.0**”.

## **5 Resultados e Análises - Demonstrador Indústria 4.0**

A seguir é apresentado e discutido os resultados da implementação prática do método, realizado em parceria com a empresa de manufatura já apresentada.

### **5.1 Planejamento**

Devido aos conhecimentos sobre a Indústria 4.0 e as potenciais melhorias trazidas através de sua implementação, os gestores da empresa, levantaram a possibilidade de desenvolvimento de um projeto de Indústria 4.0 em parceria com a academia, que detém amplo conhecimento teórico.

#### **5.1.1 Identificar expectativas do cliente e alinhar os conhecimentos**

A proposta do projeto surgiu como uma necessidade da empresa em desenvolver um Demonstrador de Indústria 4.0. No início de 2018 ocorreu a primeira reunião entre vários gestores da empresa, com o diretor e uma aluna de mestrado do SCPM, na qual iniciou formalmente um projeto em parceria.

Nas primeiras reuniões os gestores apresentaram e propuseram vários cenários e possibilidade de tecnologias e recursos desejado e disponíveis para uso no projeto. A equipe SCPM apresentou seus conhecimentos, áreas de competência e os projetos que já haviam trabalhado anteriormente.

Nestas discussões foi definido o time inicial, sendo o SCPM responsável pelo planejamento do Demonstrador, e um setor da empresa pela implementação. Este time era interdisciplinar, composto por pessoas de diferentes áreas de atuação e com diferentes níveis de compreensão da Ind. 4.0.

Como resultado destas reuniões foi desenvolvido o pedido do projeto, Figura 26, com as necessidades, requisitos, expectativas de negócio, além de restrições e questões especiais que devem ser abordadas e consideradas durante o projeto.

<b>Projeto: Testbed de Indústria 4.0</b> <b>Pedido do Projeto</b>	
<b>Responsáveis:</b> Setor Empresa e SCPM	
<b>Necessidades de negócio:</b> permitir a realização de treinamentos em Indústria 4.0 para gestores e líderes, testes de tecnologias e apresentação aos clientes sobre soluções de Indústria 4.0	
<b>Requisitos de negócio:</b> O Testbed deve simular um sistema produtivo real de fábrica, que seja provido com tecnologias de Indústria 4.0. Ele: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite o monitoramento em tempo real dos processos, operações, operadores e produtos;</li> <li>• Permite o acompanhamento do sistema em tempo real e remotamente;</li> <li>• Utiliza de tecnologias embarcadas para apoiar os operadores durante o processo;</li> <li>• Alcançar no mínimo o grau de maturidade de visibilidade no Testbed;</li> <li>• Apoiar a tomada de decisão de gestores e líderes baseado em dados.</li> </ul>	
<b>Valor de negócio:</b> Com o projeto espera-se: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teste de potenciais tecnologias para implementação no chão de fábrica</li> <li>• Auxiliar atuação da empresa em soluções de Indústria 4.0 no mercado</li> </ul>	
<b>Restrições e questões especiais:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A primeira etapa do projeto deve ter sua implementação finalizada até Agosto de 2020;</li> <li>• Limite financeiro (R\$) disponível para investimento no projeto.</li> </ul>	

Figura 26: Pedido do projeto

Também foi realizada uma análise FOFA, ou SWOT do inglês, com as forças, fraquezas, oportunidades, e ameaças identificadas inicialmente, como pode ser observado na Figura 27.

	Fatores positivos	Fatores negativos
Fatores internos	<b>Strengths (Força)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reputação da empresa</li> <li>• Localização</li> <li>• Infraestrutura</li> <li>• Acesso a M.P., pessoal qualificado e tecnologias</li> <li>• Versatilidade do projeto</li> <li>• Know-how</li> </ul>	<b>Weaknesses (Fraquezas)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomia do departamento</li> <li>• Pouca experiência da equipe</li> <li>• Atualidade do tema</li> <li>• Quebra e mudança</li> <li>• Atraso de entrega</li> </ul>
Fatores externos	<b>Opportunities (Oportunidades)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avanços tecnológicos</li> <li>• Procura de mercado por soluções relacionadas a I 4.0</li> </ul>	<b>Threats (Ameaças)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inviabilidade econômica para clientes</li> <li>• Turnover</li> </ul>

Figura 27: Matriz FOFA (SWOT) do projeto

### 5.1.2 Compreender o sistema atual

O Demonstrador de Indústria 4.0 é um sistema inteligente, que teve seu início de criação e implementação durante o período deste trabalho de mestrado. Portanto

o resultado apresentado aqui é consequência do planejamento, definição e simulações do ambiente produtivo ao longo de dois anos.

O produto desenvolvido é uma garra robótica, Figura 28, composta por 23 componentes, com 3 possibilidades de customização de pinça. Alguns componentes são fabricados no próprio Demonstrador, utilizando os recursos disponíveis, enquanto outros são adquiridos por fornecedores (que fazem parte do cenário demonstrativo).

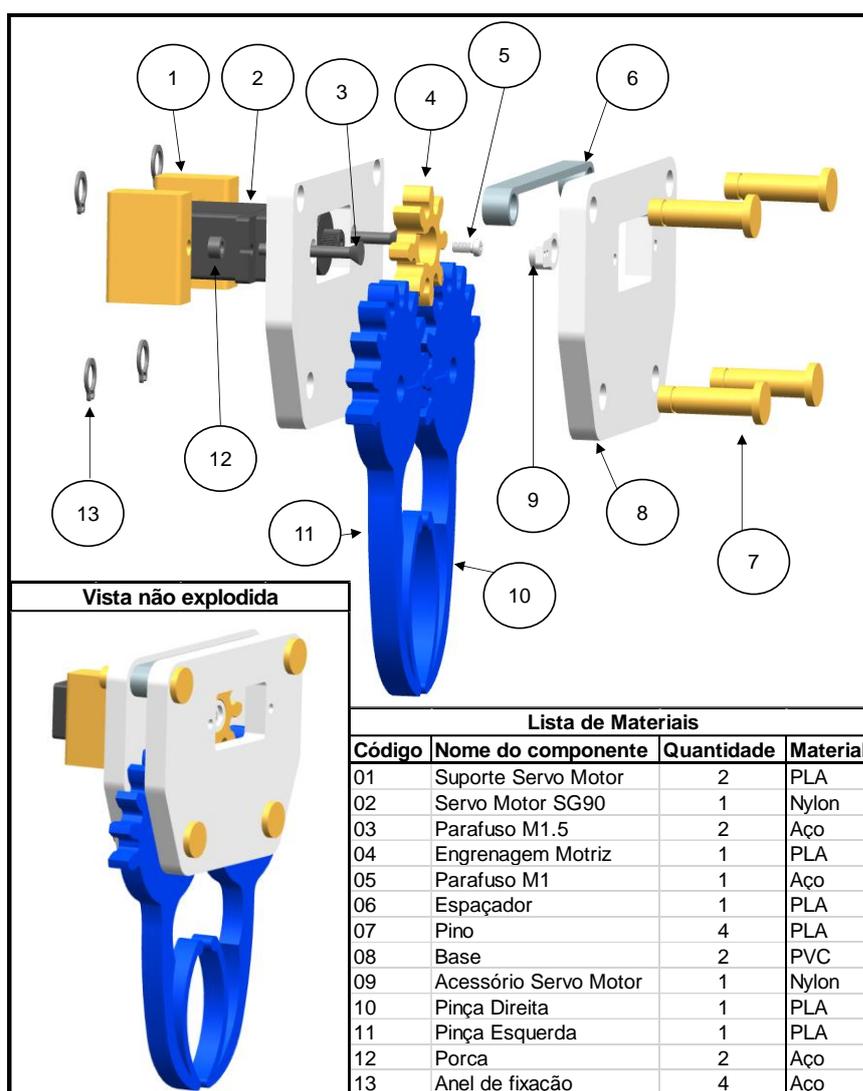
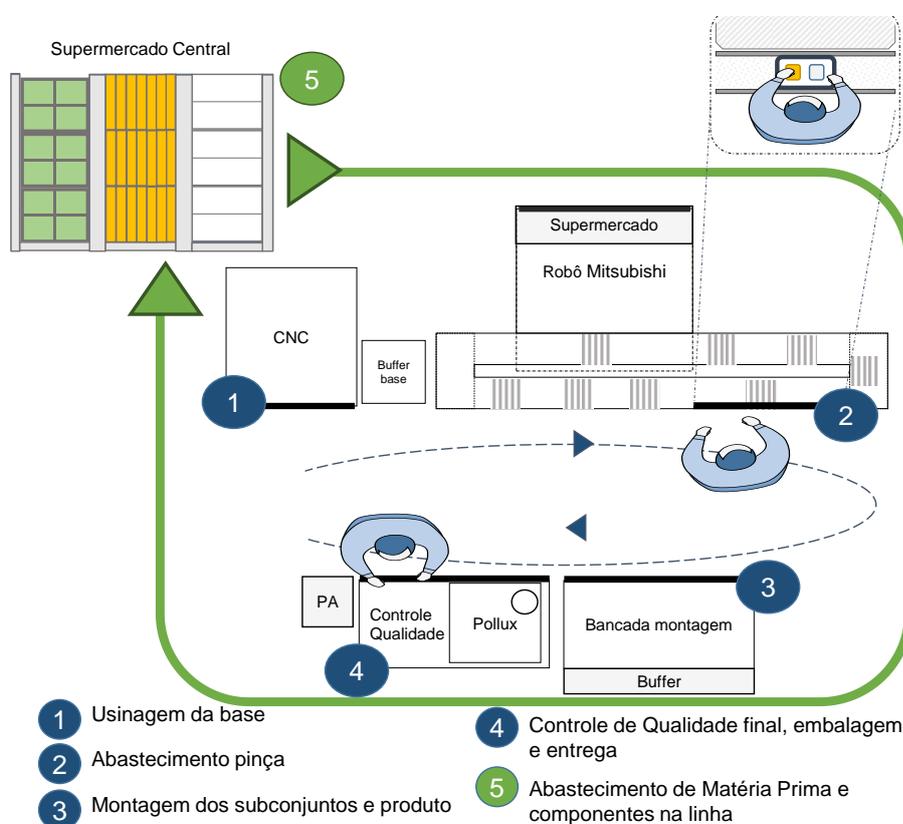


Figura 28: Produto do Demonstrador

O produto é montado e produzido com processos simples, que permita pessoas sem conhecimento aprofundado sobre operações de manufatura a realizar os procedimentos. O produto deve ter possibilidades de customização e variação

de modelo e ter seus procedimentos (de produção e montagem) realizados com os recursos: 1 Robô Mitsubishi, 1 Esteira de movimentação de produto, 1 Robô Colaborativo Pollux, 1 CNC EMCO, e bancadas de montagem, Figura 29.

Além do produto proposto inicialmente, foi planejado e desenvolvido uma segunda proposta do produto (Produto 2) que possa ser produzida na mesma linha, variando apenas quanto a alguns componentes. A segunda variante também conta com 3 possibilidades de customização de forma e cor. Os dois produtos e suas possíveis customizações podem ser observadas no Anexo 6.



*Figura 29: Processo geral do Demonstrador*

O processo será manual, realizado por um operador, e inicia com a usinagem simultânea de duas bases. O operador realiza o controle de qualidade da peça e se move para a segunda estação, que representa um supermercado interativo que fornece as pinças específicas para a ordem de produção. Esta estação conta com um braço robótico Retrofit que seleciona as garras e as coloca em uma esteira, que leva os componentes até a posição do operador. O operador recebe as pinças e as transportam, juntamente com as duas bases, para a terceira

estação, onde é realizada a montagem dos subconjuntos e por fim do produto final, a garra robótica. Em seguida, o operador entrega a garra robótica para um robô colaborativo Pollux, situado na quarta estação, para que o controle de qualidade final da garra seja realizado. Caso a peça seja aprovada ela é embalada e entregue ao cliente. Todos os componentes são armazenados em um supermercado central, representado como a quinta estação.

Uma estação de trabalho é composta por processos, Tabela 1. Ela faz parte de uma cadeia de processos e é caracterizada por sua integração no fluxo de material, fluxo de informações, fluxo de comunicação e organização do trabalho.

Portanto, foi definido a ordem de atividades e operações realizadas em cada uma das estações, considerando os recursos, ferramentas, material de entrada e de saída, e informações essenciais do processo. Estas informações são apresentadas parcialmente na Tabela 1, e de forma completa no Anexo 7.

*Tabela 1: Descrição dos processos*

Descrição dos processos					
Op.	Descrição da operação	Man. /Aut.	Ferramentas /Instrumento	Material	Informações
<b>Estação de trabalho 1: Usinagem CNC</b>					
0010	Abastecer CNC com material de entrada	Manual		Base pré fabricada (Fornecedor)	Instrução de trabalho Usinagem
0020	Validar fixação e quantidade de peças	Aut.			
0030	Fechar porta CNC e iniciar processo	Manual			
0040	Usinagem CNC	Aut.	CNC	2 bases	Programação
0050	Retirada do componente da CNC	Manual	Dispositivo para retirada do produto		
0060	Limpeza do equipamento	Manual	Pistola de ar comprimido	Cavaco	
0070	Retirada de rebarba	Manual	Pistola de ar comprimido		
0080	Controle de qualidade da peça	Aut.	Câmera		Desenho técnico base, Tabela de tolerâncias

### 5.1.3 Avaliar o nível de maturidade

A primeira atividade recomendada no modelo proposto por Schuh et al. (2017) [3], é avaliar a estratégia corporativa e as tecnologias e sistemas implementados.

A estratégia corporativa, especifica os benefícios desejados para o projeto, como determinado na Figura 26. Enquanto as tecnologias e sistemas avaliados,

tiveram como base, as tecnologias aplicadas no chão de fábrica, e àquelas recomendadas pela equipe do projeto.

Com base nestas duas informações, e no ambiente produtivo (produtos e processos) definidos, foram identificadas e descritas todas as funções e características do grau de maturidade Visibilidade (com foco nos Recursos) que são desejados para o Demonstrador, em uma tabela Excel. O resultado parcial desta descrição é observado na Tabela 2. O resultado completo pode ser observado do Anexo 8 ao Anexo 11. As características são divididas entre as cinco competências de maturidade para os Recursos, representada cada uma, por uma cor diferente. A legenda é apresentada no Anexo 12.

*Tabela 2: Características e funções gerais do nível de maturidade de Visibilidade*

Características do Nível de Maturidade "Visibilidade"	Especificação usuário	Prior.	Implementado (%)	Observações
Identificação única dos recursos e máquinas	Robô Pollux	1	6%	Vinculo de um IP para cada recurso
	Robô Mitsubishi	1	54%	
	Esteira	1	54%	
	CNC	1	54%	
	Supermercado	1	0%	
	Bancada de Montagem	1	54%	
Identificação única dos colaboradores	Operadores	2	75%	Cartão de Identificação
	Gestão	2	8%	
Identificação única dos produtos	Componente Base	2	50%	RFID passiva, RFID ativa, QR Code...
	Componente Pinça	2	50%	
	Garra Robótica (PA)	2	50%	
	Matéria Prima (lote)	2	50%	
Interface para comunicação com o produto, ordem e/ou operador	Robô Pollux	2	0%	Leitor de RFID
	Robô Mitsubishi	2	50%	
	Esteira	2	50%	
	CNC	2	50%	
	Supermercado	2	0%	
	Bancada de Montagem	2	50%	

A tabela conta com cinco campos. O primeiro é a característica de maturidade a ser considerada. O segundo se refere usuários a qual a característica se aplica, sendo possível definir um produto (produto final, pinças, base ou matéria prima), um recurso (máquinas ou estação de trabalho), ou um colaborador (operador ou da gestão). A prioridade varia de 1 a 4, sendo que 1 representa prioridade máxima, para que seja implementado o quanto antes, e a 4 a com menor prioridade. O quarto campo representa a porcentagem de implementação de uma determinada característica, para um usuário específico. E por fim, há as observações, com detalhes e descrições sobre a característica definida.

A porcentagem de implementação está atualizada de acordo com os últimos resultados obtidos até a escrita deste trabalho. Todos os gráficos de acompanhamento do grau de maturidade do sistema (como o gráfico radar) serão apresentadas ao final, no capítulo 5.4.1, em resultados.

A aplicação do nível de maturidade no sistema, fornece a base para determinar os requisitos de Indústria 4.0 desejados para o projeto. Apesar do foco desse projeto ser na Maturidade dos Recursos, o projeto do Demonstrador engloba sistemas de gestão, e integração com a rede de valor (fornecedores e clientes), portanto, esses fatores são considerados na lista de requisitos.

Uma representação parcial da lista de requisitos pode ser observada na Tabela 3. Ela conta com cinco campos, que possuem os mesmos significados que a tabela de maturidade.

*Tabela 3: Lista de Requisitos*

Descrição dos Requisitos	Usuário Específico	Prior.	Implem. (%)	Restrições/Obse rvações
Os recursos/estações devem possuir um IP para identificação única e conexão com a rede.	Robô Pollux	1	10%	
	Robô Mitsubishi	1	100%	
	Esteira	1	100%	
	CNC	1	100%	
	Supermercado	1	0%	
	Bancada de Montagem	1	100%	
Cada recurso/estação com um IP deve possuir capacidade para se comunicar (enviar dados) com o banco de dados ou qualquer sistema de gestão que armazene e processe estes dados.	Robô Pollux	1	10%	
	Robô Mitsubishi	1	100%	
	Esteira	1	100%	
	CNC	1	100%	
	Supermercado	1	0%	
	Bancada de Montagem	1	100%	
Os dados obtidos devem estar vinculados ao recurso/estação.	Robô Pollux	1	5%	
	Robô Mitsubishi	1	18%	
	Esteira	1	18%	
	CNC	1	18%	
	Supermercado	1	5%	
	Bancada de Montagem	1	18%	

A porcentagem de implementação está atualizada de acordo com os últimos resultados obtido até a escrita deste trabalho. Todos os gráficos de acompanhamento da implementação dos recursos será apresentado ao final, no capítulo 5.4.1, em resultados.

Alguns requisitos técnicos, que definem especificações de mecânica, software, infraestrutura para armazenagem e troca de dados, para especificação dos sensores e atuadores foram definidos neste momento, no entanto, eles são responsabilidade da equipe técnica, que possui conhecimento e qualificação adequado para tal. Esta dissertação não irá apresentar os resultados da equipe técnica, pois está além do escopo deste trabalho.

#### **5.1.4 Propor melhorias de processo**

As atividades realizadas nesta etapa podem variar para cada projeto devido as especificidades do mesmo, e ao conhecimento e experiência da equipe.

Neste trabalho, uma parte do processo foi simulado no software Tecnomatix® Plant Simulation®, com o objetivo de validar e de mensurar a quantidade de material necessário ao sistema, considerando uma taxa de uso máxima dos recursos, operadores e componentes do processo, durante o uso contínuo da linha por um período de 1, 2 e 3 horas. O objetivo é garantir que não haja falta de componentes para o abastecimento das estações durante o uso do Demonstrador e que os dados gerais do processo sejam conhecidos.

Com isto deve-se responder as seguintes perguntas: Qual o tempo de ciclo do produto? Qual o gargalo? Qual a taxa de ocupação de cada recurso? Qual a dimensão ótima do supermercado? Há soluções para aumentar a produtividade?

Esta simulação não inclui falhas de máquina e considera apenas o produto 1 com uma variante. O foco foi realizar uma simulação parcial do sistema proposto inicialmente (Capítulo 5.1.2), como pode ser observado na Figura 30.

O sistema possui as estações principais: Usinagem, montagem, abastecimento e controle de qualidade, e os dados utilizados foram baseados em dados reais, do processo até então implementado. O sistema tem capacidade de produção de 12 produtos/h e a usinagem é o gargalo, e os dados estatísticos são apresentados na Figura 30.

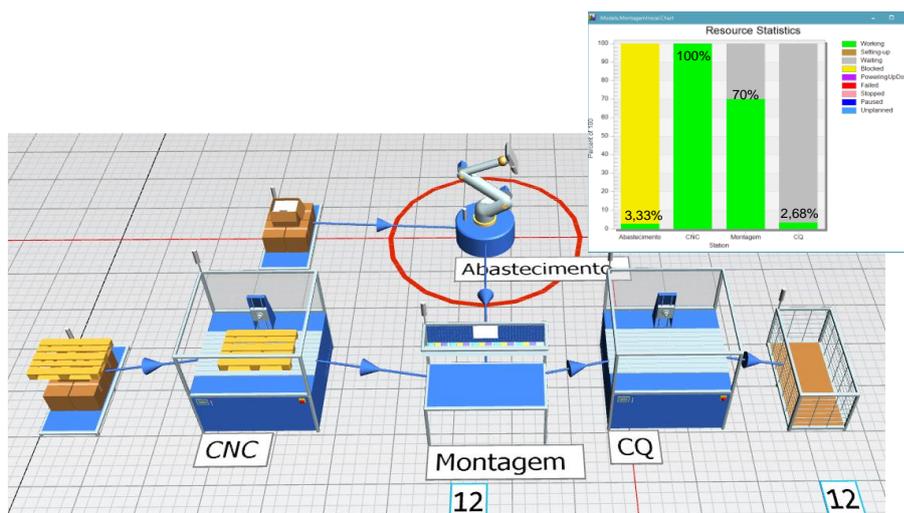


Figura 30: Simulação processo inicial

Com o objetivo de aumentar a produtividade da linha, uma nova simulação, Figura 31, incluiu um buffer com bases prontas após a usinagem, representando um estoque de reposição. Ao colocar o buffer, as taxas de ocupação das estações aumentaram, e a capacidade de produção da linha é de 17 produtos/h.

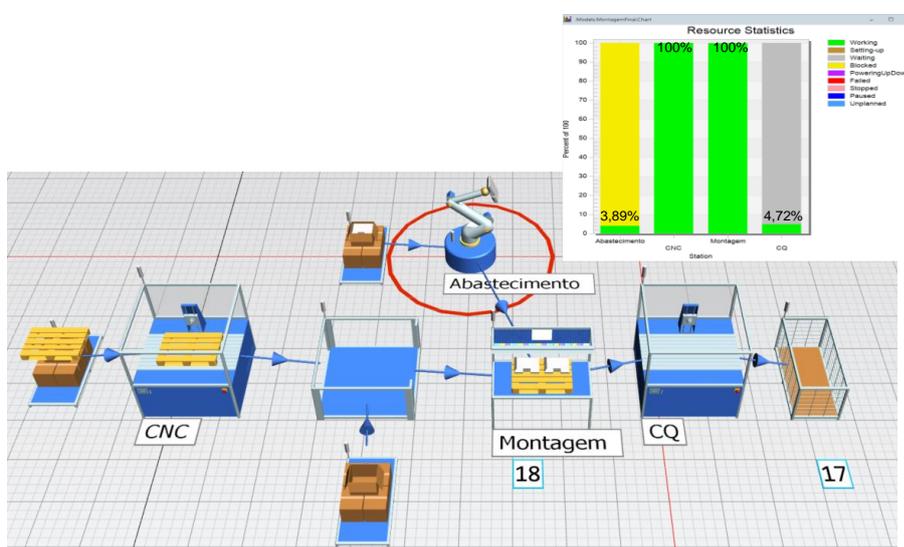


Figura 31: Simulação processo otimizado

Para definir o tamanho ótimo do buffer de reposição de peças usinadas, foi utilizado a ferramenta ExperimentManager® do Plant Simulation®, em que foi identificada a produtividade da linha em comparação com o estoque de reposição das bases, como pode ser observado na Tabela 4.

Com a incorporação do estoque de reposição, a vida útil média do componente (tempo entre criação do componente e retirada dele da planta, no período de 1h) aumentou em 30% (em um cenário de produção isso significa custo e espaço necessário para armazenagem), no entanto a produtividade da linha aumentou 40%. E para o cenário do Demonstrador, essa solução é adequada.

*Tabela 4: Estoque de reposição (ótimo) - bases*

<b>Tempo</b>	<b>Estoque ótimo de bases</b>	<b>Produção máxima</b>
1h	5 unid.	17 unid.
2h	10 unid.	34 unid.
3h	17 unid.	51 unid.

Tendo o resultado de quantas peças são produzidas em 1h, 2h e 3horas, pode-se determinar qual o tamanho do supermercado. Para isto, a lista de material do produto foi multiplicada pela capacidade máxima de produção da linha para os três cenários. Resultando na quantidade de produtos que devem ser mantidos em estoque (no supermercado e na linha) e preparados para uso durante as simulações e uso do Demonstrador.

O resultado da simulação, sob o ponto de vista de balanceamento, não é ideal, uma vez que duas estações possuem baixos níveis de ocupação em comparação com as outras. É importante destacar que a algumas condições foram desconsideradas na simulação, sendo elas:

- O tempo de ciclo considerado nas estações, por fins de simplificação, é o referente ao tempo que uma peça leva para ficar pronta, realizando um mescla entre as operações manuais e automáticas:
  - A estação de montagem é um processo completamente manual, e, portanto, o tempo em que o operador fica na estação, é o tempo para a montagem do produto.
  - O tempo de ciclo da CNC considera desde o momento em que o operador abastece a máquina (manual), até a usinagem dos produtos (automático) e a saída do operador da estação com o

produto (manual), no entanto, a maior parte do tempo de ciclo desta estação é referente ao processo automático da CNC, e o operador não é requerido durante este tempo, ou seja, ele pode seguir para as outras estações durante esse procedimento.

- O tempo de ciclo do abastecimento considera apenas as operações manuais (o tempo entre o operador chegar na estação, e retirar a peça), e desconsidera o tempo automático de seleção e preparação da peça para retirada.
- E o controle de qualidade considera o tempo das operações manuais e automáticas, visto que, no momento, o operador deve aguardar que a operação finalize, para que ele possa se retirar da estação.
- Os materiais usinados em uma simulação podem ser reutilizados em outras simulações, para reaproveitamento de materiais, causando aumento no número de bases prontas no buffer. Portanto, a longo prazo a estação CNC terá menor impacto no Demonstrador.
- Devido a possibilidade de diferentes mix de produtos, é proposto que novas estações, de montagem e possivelmente de desmontagem, sejam implementados. Resultando em desafios de balanceamento na produção, tanto de mix de produtos, quanto de distribuição da mão de obra para alcançar objetivos de produção. Este desafio é principalmente interessante, uma vez que a longo prazo, mais produtos podem ser incorporados a linha, além dos dois já apresentados (Anexo 6).
- A estação de abastecimento pode ser incorporada mais ativamente à linha, onde o Robô Mitsubishi abasteça a estação de montagem diretamente com as pinças e com outros produtos, diretamente do supermercado. Isto necessita de processos automáticos mais elaborados, que podem ser incorporados no futuro.

- O Robô Pollux, por ser um robô colaborativo, poderia receber mais funções para apoiar o operador durante o processo, aumentando sua participação na linha.

Ao finalizar todo o planejamento da linha e dos produtos, a equipe do projeto teve uma melhor base de informações, utilizada para rever e atualizar a lista de requisitos e de maturidade de acordo com o julgado necessário.

### **5.1.5 Proposta de Projeto**

A análise de viabilidade tem como base a proposta inicial do projeto (Figura 26) e focou na análise de viabilidade técnica (disponibilidade de recursos [pessoas] para implementar o projeto, esforço médio previsto por etapa) e organizacional (alinhamento do projeto com a empresa e seus colaboradores).

A restrição de recursos humanos, para implementação do Demonstrador, e a quantidade de funcionalidades desejadas para implementação foram os principais fatores de restrição na definição do roteiro estratégico.

O projeto foi dividido em quatro macro etapas que cumprem finalidades específicas. A primeira macro etapa tem o objetivo de garantir uma estrutura básica do Demonstrador, as macro etapas subsequentes incorporam funções e processos avançados fornecendo a cada etapa, um avanço no grau de maturidade do Demonstrador, com foco no estágio de Visibilidade. Abaixo, na Tabela 5, são apresentadas as macro etapas e os objetivos de cada uma.

Outro fator que também interferiu na definição das macro etapas, foi a curva de aprendizado da equipe tanto do ponto de vista teórico, da Indústria 4.0, quanto prático, para o planejamento e implementação do sistema. É esperado que a primeira macro etapa represente maior dificuldade neste quesito, mas prevê-se que conforme o projeto avance, o grau de conhecimento da equipe aumente e, portanto, tenham maior facilidade em implementar as funções do Demonstrador.

Tabela 5: Proposta das macro etapas para o projeto

<b>Etapa 1 (V1)</b>
<p>O foco é a implementação física dos recursos e estações de Usinagem, Abastecimento e Montagem, para a produção do produto 1, com customização apenas de formato (sendo que cada variante (formato) é vinculada a uma cor).</p> <p>Implementar e integrar o sistema de gestão MES com a linha do demonstrador, ou seja, cada estação enviará dados de sensores ao sistema, que irá atualizar os KPIs em tempo real. O sistema deve permitir interação com os gestores.</p> <p>Desenvolvimento de uma interface para que o cliente gere o pedido de compra.</p> <p>O operador deve ser auxiliado por tecnologias para orientá-lo ao processo, com sensores sonoros, luminosos e sistema poka yoke.</p>
<b>Etapa 2 (V2)</b>
<p>Implementação física dos recursos e estações de Controle de Qualidade Final, e melhoria das tecnologias e processo das estações já implementadas, para que seja produzido o produto 1, com customização de cor, ou seja, cada formato pode ter três cores diferentes para escolha.</p> <p>Implementar um sistema de integração, que permita aos recursos se comunicar com os produtos e operadores, rastrear os produtos, gerenciar a disponibilidade de materiais na linha, monitorar o sistema, e controlar, comunicar e gerenciar as ordens e operações que devem ser realizadas.</p> <p>O operador terá auxílio para realização das operações, por meio de um Tablet, integrado ao sistema de integração, com capacidade de orientar o operador durante todos os processos.</p>
<b>Etapa 3 (V3)</b>
<p>Implementação física de um Supermercado inteligente, com gerenciamento em tempo real dos materiais disponíveis na linha. O sistema terá capacidade para produção de um segundo produto, com customização de formato e cor.</p> <p>Implementar um sistema ERP</p> <p>Desenvolver uma interface de integração com o fornecedor, para geração de ordens de compra de materiais, e para obter dados dos produtos vindos do fornecedor.</p> <p>Desenvolver interface de acompanhamento de ordem de produção pelo cliente</p>
<b>Etapa 4 (V4)</b>
<p>Produção de um produto com total customização das pinças pelo cliente, respeitando restrições de produção. O cliente também terá a opção de adicionar tecnologias ao produto, como sensores ou atuadores específicos para sua aplicação. Desse modo é recomendado a incorporação de uma estação de manufatura aditiva para a produção das pinças customizadas. Também é proposto incorporar uma estação de desmontagem integrada.</p> <p>Os gestores terão acesso e poderão atuar, monitorar e interagir com a linha remotamente.</p> <p>Os operadores poderão ser auxiliados por realidade virtual e/ou aumentada.</p> <p>Incorporação de simulações de cenários e situações desejadas.</p>

A proposta foi apresentada e discutida com o comitê e foi aprovada.

## 5.2 Modelagem

O passo de **Modelagem**, Figura 23, expande a proposta para o projeto e avança para um entendimento mais aprofundado sobre como e quais passos serão necessários para que a solução seja implementada de forma viável no sistema produtivo, para torná-lo Indústria 4.0.

### 5.2.1 Desenvolver estratégia

Até o momento em que este trabalho foi escrito, foi definido a estratégia de implementação das etapas 1 e 2 apenas, visto que as etapas 3 e 4 são fortemente influenciadas pelas decisões tomadas nas etapas anteriores, podendo sofrer alterações durante o processo. Planejar com detalhes, em um estágio muito prematuro pode acarretar em retrabalho.

Cada macro etapa foi dividida em subprojetos que se relacionam e possuem dependência entre si, formando um roteiro estratégico de implementação. O roteiro foi desenvolvido em uma planilha Excel, como pode ser observado parcialmente na Tabela 6, representando a Etapa 1. Todos os subprojetos da Etapa 1 e 2 são apresentados no Anexo 13 e Anexo 14 respectivamente.

Este roteiro é composto por seis campos. A etapa representa o código de cada subprojeto. O Status (%), quantos por cento daquele subprojeto foi implementado pela equipe responsável.

O Status é uma forma de monitorar de forma automática quando um subprojeto tem autorização para iniciar ou não. Ele é calculado automaticamente e está relacionado às dependências entre os subprojetos. Por exemplo, para que o subprojeto V1.2 (CNC), V1.3 (Abastecimento garra) e V1.4 (Montagem) tenha autorização para iniciar, é necessário que mais de 60% (apresentado no campo % Concluída) do subprojeto V1.1 (Produto) seja realizado, pois eles dependem de decisões e informações fornecidos por este subprojeto.

A descrição é uma exposição dos resultados esperados ao fim do subprojeto, e o campo observações apresenta informações adicionais.

*Tabela 6: Subprojetos da Etapa 1 - Roteiro estratégico*

Etapa	Status (%)	Status	Nome do subprojeto	Descrição	Observações
V1.1	100%	Finalizado	Produto	Desenvolver o produto 1 e as customizações de forma, definir o processo, regras de qualidade e processos para produção	3 customizações de formato
V1.2	100%	Finalizado	CNC	Implementar o processo de usinagem da Base do produto 1, e o processo de controle de qualidade	
V1.3	100%	Finalizado	Abastecimento Garra	Implementar o processo de abastecimento das Pinças do produto 1	Implementação da Esteira e Robô Mitsubishi integrados. E a capacidade de, automaticamente, abastecer a linha com 3 produtos diferentes, que acordo com a ordem de produção determinada.
V1.4	100%	Finalizado	Montagem	Implementar o processo de montagem do produto 1	

Foi aplicado a metodologia Kanban, com o objetivo de gerar um gráfico visual da relação e dependência entre os subprojetos das duas etapas, na forma de um fluxograma, utilizando a ferramenta Microsoft Visio®, que permite integração automática entre os dados do Excel®, com o fluxograma.

Deve-se evitar criar diagramas complexos, com muitos detalhes e dependências. A complexidade ideal é que seja fácil compreender as etapas do roteiro pelas equipes e pessoas envolvidas, e que elas abranjam a quantidade adequada de atividades e informações.

O plano de trabalho de cada subprojeto (em um arquivo MSPProject® por exemplo) requer um nível de maturidade e alinhamento mais avançado quanto a compreensão do sistema (obtido por exemplo durante a sua modelagem) e será realizado pelas equipes (técnicas) responsáveis. Os resultados destas atividades, não serão contemplados neste trabalho.

Por fim, foram definidos KPIs de acompanhamento do projeto, que resultaram em gráficos de acompanhamento. Eles serão apresentados no capítulo 5.4.1.

## 5.2.2 Desenvolver casos de uso

Diagramas de casos de uso são utilizados nos estágios iniciais de um projeto, e apresentam as interações dos usuários com diferentes níveis de abstração. A Figura 32 apresenta o diagrama com maior abstração.

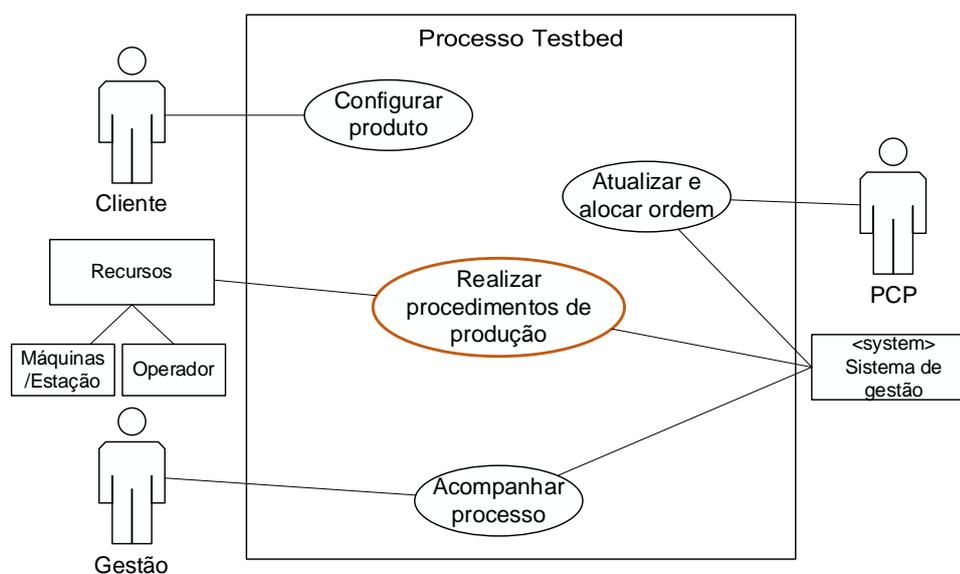


Figura 32: Diagrama caso de uso Processo Demonstrador

O objetivo foi identificar os principais casos de uso (UC) que ocorrem no ambiente do Demonstrador. Este diagrama é composto por quatro UCs: configuração do produto customizado pelo cliente, a atualização e alocação da ordem de produção, a realização dos procedimentos de produção e o acompanhamento de todo esses processos pela alta diretoria ou gestão envolvida. Cada UC é relacionado aos seus respectivos atores, como cliente, recursos, gestão, PCP ou sistema de gestão.

Devido à complexidade e alto número de interações envolvidas no UC “Realizar procedimentos de produção”, e a sua importância para o sistema do Demonstrador, foi desenvolvido um segundo diagrama, Figura 33, para detalhá-lo. Ele inclui os UCs Usinagem, Abastecimento garras, Montagem, Controle de Qualidade e Embalagem e Entrega.

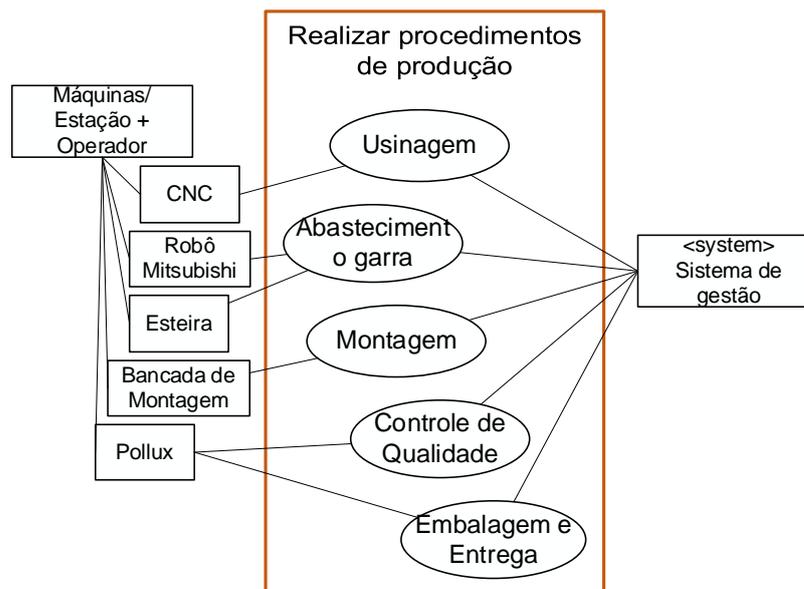


Figura 33: Diagrama caso de uso Realizar procedimentos de produção

Ambos os diagramas apresentam as interações simplificadas do sistema, sendo necessário um maior detalhamento para se obter uma melhor descrição do ambiente e sistemas do Demonstrador [77]. Para isto, foi utilizado o procedimento proposto por Alan et al. [80] (apresentado no Capítulo 4.2.2), em que o caso de uso é descrito com uma narrativa, para identificar as atividades envolvidas, interações que ocorrem, e informações trocadas [83].

Uma das narrativas desenvolvidas, foi para o caso de uso Usinagem (que se encontra no diagrama da Figura 33), e pode ser observada na Figura 34.

Esta narrativa deve conter um cabeçalho definindo as principais informações genéricas do caso de uso, uma descrição do curso típico (composto pelas principais atividades e interações que ocorrem nesse sistema, e as principais informações trocadas ao longo destas interações), dos cursos de exceção que representam potenciais falhas e dos cursos alternativos.

A narrativa completa do curso típico é apresentado no Anexo 15 e os cursos alternativos e de exceção são apresentado no Anexo 16.

Como pode ser observado na Figura 34, o passo 1 do curso típico (“Operador se posiciona na Estação de Trabalho e aciona o Caso de Uso “Iniciar Processo”), representa o acionamento de um UC dentro de outro. Isto pode ser realizado

quando se quer manter uma menor complexidade na narrativa e quando o UC acionado é reutilizado em vários UCs.

*Figura 34: Narrativa do caso de uso "Usinagem"*

<b>Nome do Caso de Uso:</b> Procedimento de Usinagem	<b>ID:</b> UC - 2	<b>Priorid:</b> 1
<b>Propósito:</b> Usinar duas bases da garra robótica (produto)		
<b>Descrição Geral:</b> O operador e a Estação de Trabalho CNC realizam a usinagem das bases		
<b>Atores:</b> Operador, Sistema de gestão, Estação de Trabalho, Dispositivo de Campo e de Controle.		
<b>Iniciador:</b> Operador		
<b>Pré-Condições:</b> 1. Ter materiais para usinagem disponível; 2. Estação disponível para uso		
<b>Pós-Condições:</b> Ter duas bases usinadas com qualidade aprovada		
<b>Curso Típico (CT):</b>		<b>Informações para o passo</b>
1	Operador se posiciona na Estação de Trabalho e aciona o Caso de Uso "Iniciar Processo" e como resultado a Estação de Trabalho e o Operador recebem as instruções de trabalho e procedimentos a serem realizados de acordo com a ordem em produção	
2	O Dispositivo de Controle IHM apresenta instruções para manuseio dos materiais e realização dos procedimentos de produção ao Operador e a Estação de Trabalho realiza os procedimentos indicados.	← Instruções de trabalho
3	Os Dispositivos de Campo e Controle (como sensores, atuadores...) enviam sinais durante os procedimentos, ao Sistema e ao Sistema de Gestão, em tempo real. (As instruções de trabalho e os sinais de acionamento podem ser identificados no Documento "Instruções de trabalho Usinagem")	→ Sinais dos processos → Dados de processo, estoque de material, controle de qualidade...

O Caso de Uso "Iniciar Processo" é utilizado em todos os procedimentos de produção, quando o operador valida sua presença, e a Estação de Trabalho é liberada para uso. A narrativa desse caso de uso é apresentada no Anexo 17.

### 5.2.3 Modelagem do sistema inteligente

O Demonstrador foi modelado utilizando os principais diagramas utilizados no UML (Capítulo 4.2.3), construídos com o uso da ferramenta Microsoft Visio®.

A modelagem do sistema começa com um alto nível de abstração, a qual sofre sucessivos refinamentos, de modo que o modelo se torna cada vez mais detalhado. O objetivo é representar de forma clara as funcionalidades das partes envolvidas e o fluxo das operações dos processos produtivo [9]. Portanto, foi

utilizado o **diagrama UML de atividade**, para compreender o fluxo de atividades e interações que ocorrem no Demonstrador, Figura 35.

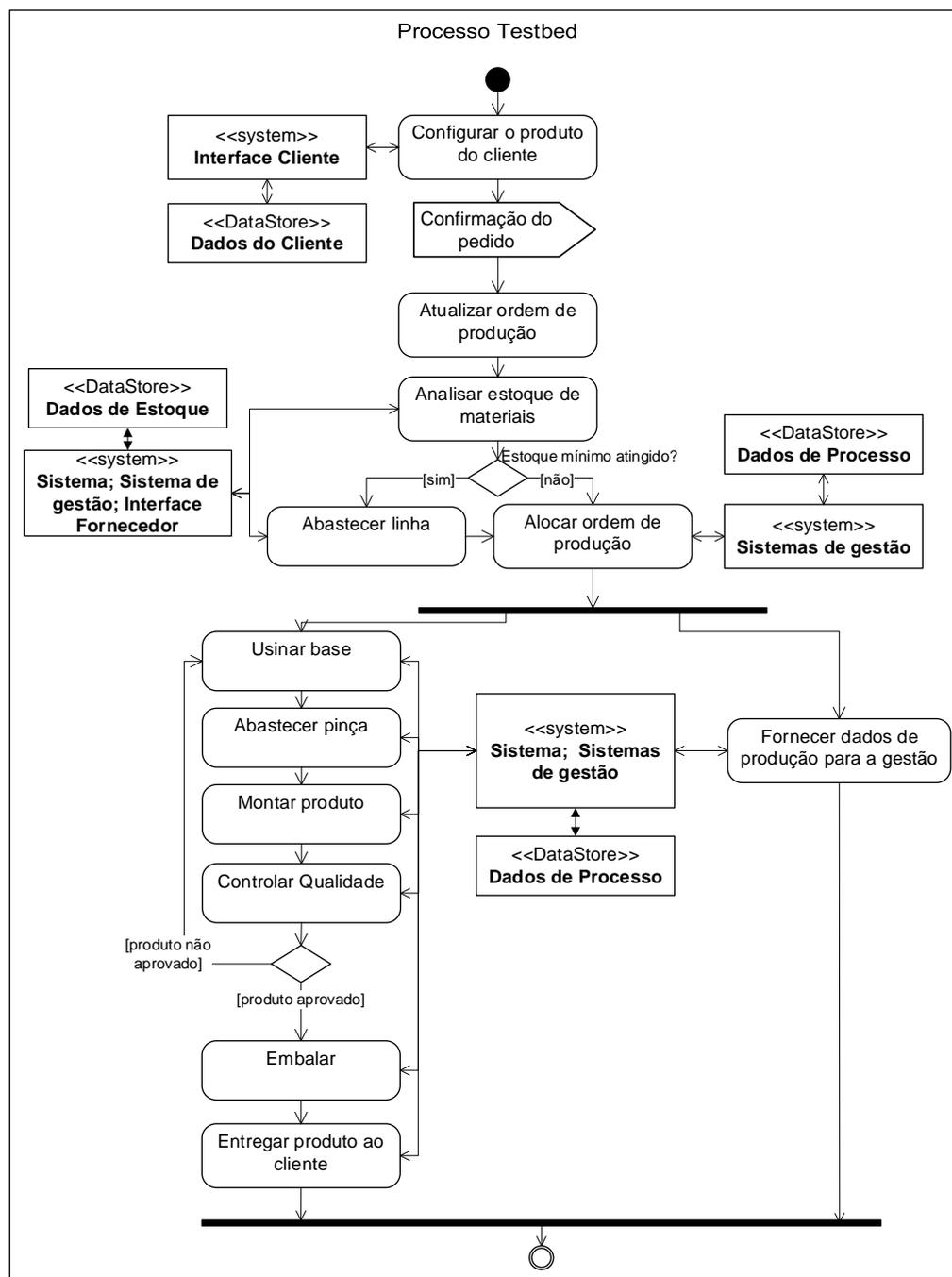


Figura 35: Diagrama UML de atividade Processo Demonstrador

O diagrama apresenta o fluxo de atividades desde a primeira etapa, configuração do produto do cliente, até o despacho do produto para o mesmo. Esse diagrama é importante pois ele apresenta os bancos de dados e os sistemas principais

envolvidos, além do fluxo de atividades decisórias, que impactam a realização dos processos e procedimentos.

O processo inicia com a configuração do produto customizado pelo cliente, possibilitado devido a uma interface do cliente, necessária para que o cliente formalize a compra, e também integrada com o sistema de gestão. Sendo assim, a interface deve estar vinculada a um banco de dados de clientes, que deve possuir informações sobre o mesmo e seu pedido.

A integração das atividades, com os sistemas (<<system>>) e o banco de dados (<<DataStore>>), são apresentados com uma seta de sentido duplo, pois os dados são trocados (recebidos e fornecidos) continuamente.

Esclarecidos os limites dos sistemas e das atividades envolvidas no Demonstrador, as interações entre os sistemas e os atores que interagem neste ambiente foram detalhadas, por meio do **diagrama UML de sequência**.

No entanto, no conceito da Indústria 4.0, um sistema produtivo tem um alto grau de interação entre muitos elementos (recursos, produtos, pessoas, softwares, aplicativos e a cadeia de valor), sendo, portanto, complexo, e que deve respeitar regras e estruturas padronizadas, como proposto no RAMI 4.0.

A arquitetura de comunicação do sistema do Demonstrador, Figura 36, considera a infraestrutura tecnológica e os recursos disponíveis no sistema modelado. Esta arquitetura segue as regras apresentadas no RAMI 4.0, na qual os eventos que ocorrem no ambiente inteligente só podem ser trocados entre duas camadas adjacentes e dentro de cada camada [5].

A camada Recursos inclui as Estações de Trabalho (máquinas), os produtos e as pessoas, que possuem uma identificação única que fornece capacidade de comunicação com o sistema. Essa identificação única será representada no Demonstrador, por uma etiqueta RFID nos produtos e um cartão de identificação (também com RFID) para cada colaborador, que se encontram na camada de Integração, juntamente com os dispositivos de campo (como sensores e atuadores) e dispositivos de controle (como IHM, PLC e dispositivos de controle). Estes dispositivos se comunicam, através de uma rede de área local com Wifi,

por meio de protocolos de comunicação como o JSON, compondo a camada de Comunicação.

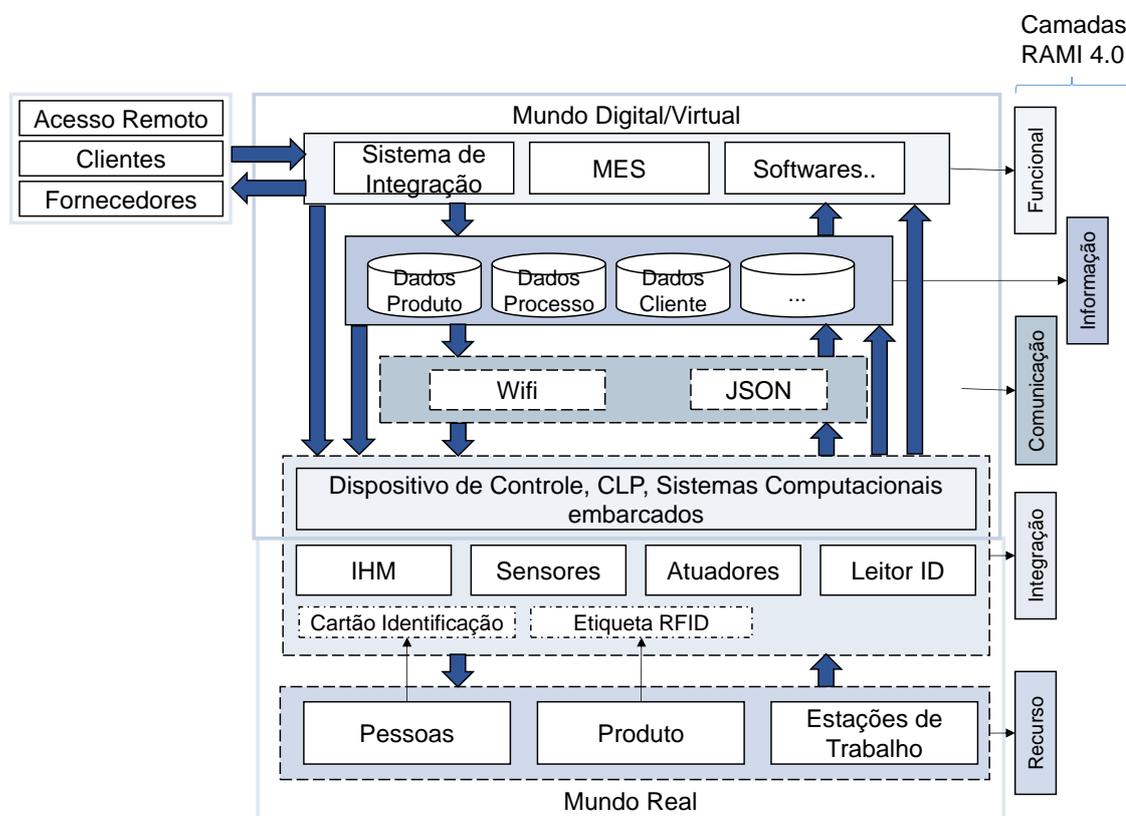


Figura 36: Arquitetura de comunicação do Demonstrador

A camada de Comunicação (RAMI 4.0) pode se comunicar com o banco de dados (camada de Informação), para armazenar dados do sistema, produtos e processos. O banco de dados recebe as informações, as armazena de forma estruturada e integradas, para evitar redundâncias, e as compartilha quando requisitado pela camada Funcional, composta por sistemas de gestão, softwares de processamento e análise de dados. Ela é integrada à cadeia de valor (Clientes e fornecedores) e ao acesso remoto (funcionalidade desejada para implementação). A camada Regra de Negócios do RAMI 4.0 não foi considerada.

Devido aos avanços tecnológicos, hoje existe no mercado, dispositivos com hardware e processamento integrados, como o Raspberry Pi, que possui capacidade de realizar a comunicação da camada de Integração à Funcional, integrando essas quatro camadas em um único dispositivo.

A arquitetura de comunicação do sistema e os casos de uso, forneceram a base de informações e estrutura para o desenvolvimento do diagrama de sequência do processo de produção. O diagrama de sequência é apresentado parcialmente na Figura 37. O diagrama completo é apresentado no Anexo 18.

O diagrama possui uma alta abstração, e apresenta as principais interações do processo produtivo. Ele é composto pela dimensão horizontal que relaciona quatro objetos que participarão da colaboração do sistema e a dimensão vertical que representa a passagem do tempo.

Os quatro objetos são, o operador e a estação de trabalho, representando os recursos físicos com dispositivos de campo e controle agregados a eles, ou seja, todas as tecnologias e capacidade de processamento deles, são consideradas como parte do operador e da estação de trabalho, por fins de simplificação. O terceiro ator é o banco de dados que armazena as informações, e o quarto é o software, o qual recebe e processa os dados em informações e ordens.

O diagrama inicia com o operador notificando sua presença por meio do cartão de identificação, que é passado em um leitor na estação de trabalho. A estação de trabalho envia o ID do operador e o status de máquina para um sistema com capacidade de processamento dos dados. O sistema irá validar o operador (se ele tem autorização para iniciar o processo) e o status de máquina (garantir que o sinal recebido não significa que a máquina está quebrada por exemplo), e enviará um sinal de aprovação e as instruções de trabalho para a estação de trabalho e ao operador, permitindo que o processo seja iniciado. A estação de trabalho confirma o início do processo.

No diagrama, são usados dois quadros: **loop** e **alt**, que podem ser observados no Anexo 18. O **loop** é usado para especificar repetições executadas até que a restrição [Realização correta de todos os procedimentos de produção e qualidade] seja alcançada, ou seja, as ações dentro do **loop** são realizadas enquanto houver procedimentos de produção e qualidade para que o operador e a estação de trabalho realizem.

O **loop** inicia com o operador e a estação de trabalho realizando os procedimentos de produção, recebidos pelo sistema. Ambos coletam dados durante a operação, que são enviados ao sistema para que eles sejam validados e analisados. O sistema pode validar que o procedimento foi realizado corretamente ou incorretamente. E essas situações alternativas são representadas no quadro **alt**, usado para especificar múltiplos fragmentos alternativos em um quadro, sendo que os fragmentos são compostos pelas condições [Realização correta do procedimento] e [Realização incorreta do procedimento].

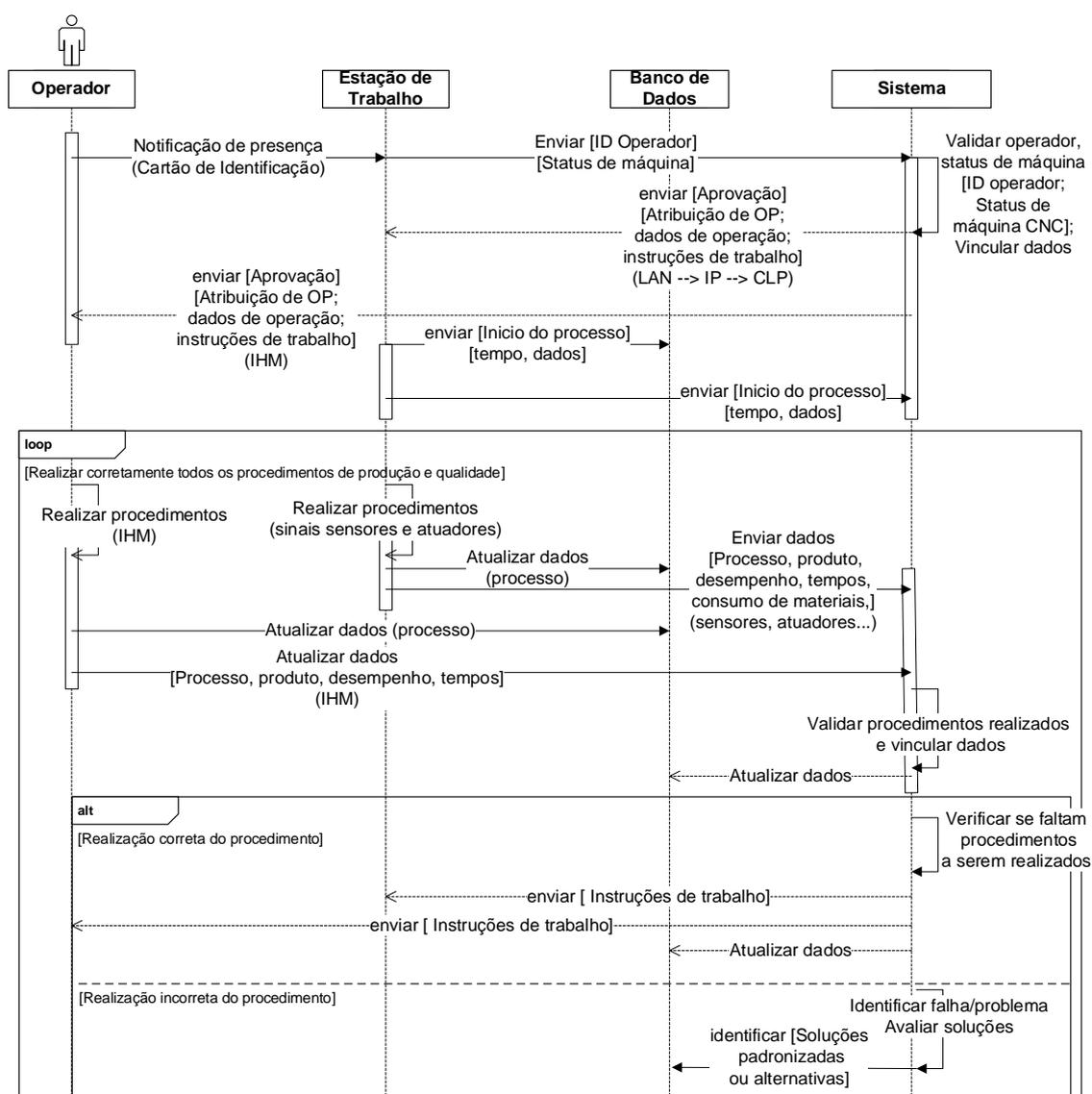


Figura 37: Diagrama de Sequência

Se avaliado que houve a [Realização correta do procedimento], o sistema avalia se ainda há operações a serem realizadas. Se não houver, o **loop** termina, pois, sua condição é alcançada. Caso haja, o sistema envia novas instruções de trabalho para o operador e a estação, e atualiza o banco de dados.

Se for avaliado que houve a [Realização incorreta do procedimento], o sistema identifica qual a falha ou problema e procura soluções no banco de dados, relativos ao problema. Com base no histórico fornecido pelo banco de dados, é definido uma solução indicada, encaminhada para o operador e para a estação de trabalho. Como ainda há procedimentos a serem realizados, o **loop** reinicia.

Quando o sistema identifica que todos os procedimentos de produção e qualidade foram realizados corretamente, o **loop** é finalizado. O sistema define uma identificação única para o produto, que agora existe fisicamente, e que terá uma identificação única atrelada a ele. Essa identificação é atualizada no banco de dados, e enviada a estação de trabalho, que possui dispositivos adequados para escrever a identificação em uma etiqueta (RFID) para o produto.

O sistema valida o fim do processo, e atualiza o status da estação como disponível para alocação de outras ordens. Ele também envia para a estação de trabalho e o operador, que o fim do processo foi alcançado.

Devido à alta abstração do diagrama de sequência apresentado, foi necessário identificar as operações que compõem o processo produtivo da estação de trabalho. Por fins de representação, será apresentado apenas o referente ao processo de Usinagem, destacado na Tabela 1. Em seguida, foram mapeados os sinais, obtidos de dispositivos de campo e controle, como sensores, atuadores, e o CLP, que indicam o início e fim entre as operações.

Estes sinais são importantes em ambientes conectados e inteligentes, pois o sistema deve, de alguma maneira, identificar quando uma operação foi realizada, para que haja atualização em tempo real dos dados do processo. Os sinais mapeados seguem as nomenclaturas do sistema de gestão a ser implementado no sistema. Essa relação é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Sinais do processo de Usinagem

Posto de trabalho Usinagem		
Estado	Descrição	Sensores
“Start”	Alocação da estação de trabalho para produção	Leitor Cartão Identificação
“Begin”	Iniciar processo de usinagem (CNC)	Sensor ótico (posição peça) Sensor fechamento de porta
“End”	Finalização do processo de usinagem (CNC e Operador realizaram todas as operações)	Sensor ótico (sem peças posicionadas) Sensor abertura de porta
“Good”	Peça com qualidade aprovada	RFID produto
“Scrap”	Peça com qualidade reprovada	Sensor de descarte
“Good ReWork”	Retiro de rebarba	Sensor posicionamento de ferramenta de rebarba

Para definir o vínculo entre as operações e os sinais gerados, foi desenvolvido um diagrama de atividade, observado na Figura 38. Sendo assim, inicialmente as operações OP 0010 até a OP 0030 são realizadas, e ao final, os sensores óticos (posição peça) e de fechamento de porta são acionadas, identificando o sinal “Begin”. Essa lógica é seguida até que o produto com qualidade adequada é obtido, com o sinal “Good”.

Como pode ser observado, o processo de usinagem é composto por vários estados (“Begin”, “Machining”, “End”, “Good Rework”, “Scrap” e “Good”) que variam conforme operações são realizadas e sinais são obtidos.

Uma ferramenta para a representação dos estados de um objeto é o diagrama de máquina de estados, o qual pode ser usado para mostrar os estados em que um sistema ou objeto pode se encontrar e as condições, eventos e atividades sob as quais ocorrem as transições entre esses estados. O diagrama, Figura 39, foi usado para esclarecer os estados da estação de trabalho Usinagem.

A Figura 39 a) representa a visão geral dos estados da estação de trabalho usinagem, iniciando com o estado “Disponível”, onde não há ordens alocadas.

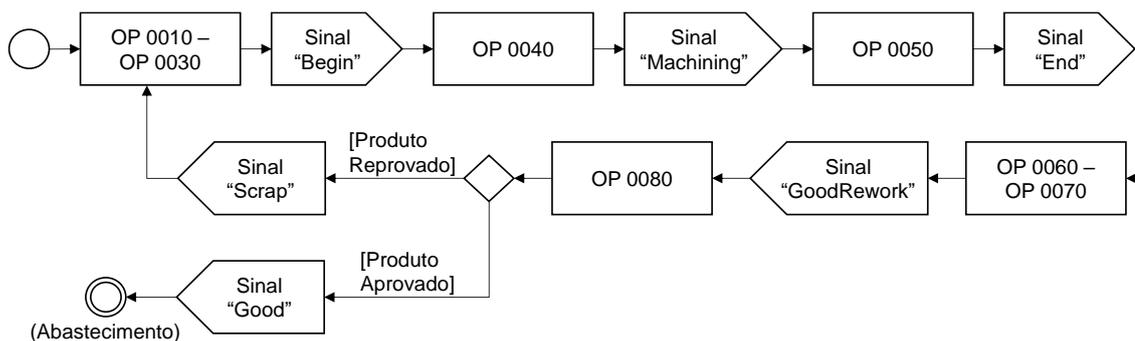


Figura 38: Diagrama de Atividade das operações e sinais no processo de Usinagem

O estado “Em uso: Operações” é um estado composto, cujos detalhes não são visíveis na Figura 39 a), mas são detalhados na Figura 39 b). Esse estado significa que operações de produção estão sendo realizadas na estação de trabalho.

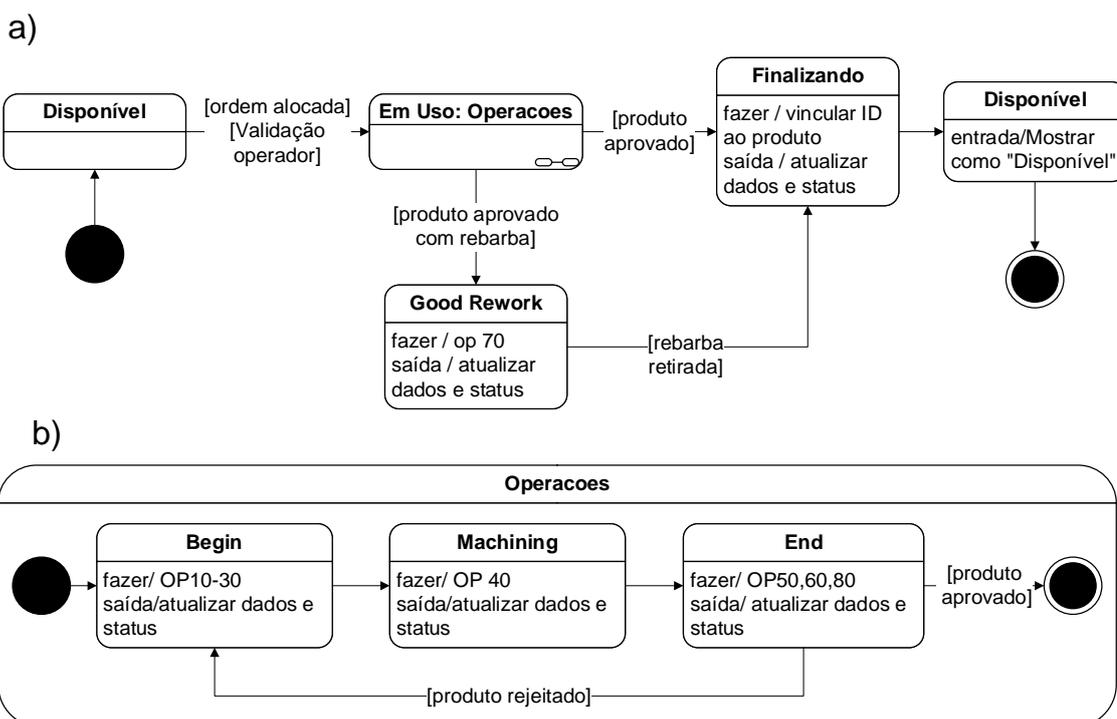


Figura 39: Diagrama de máquina de estado a) visão geral b) operações

Um estado pode ser composto por três comportamentos. A entrada representa as atividades que serão executadas pelo objeto (estação de trabalho) imediatamente após o início do estado definido. O fazer representa as atividades

que serão realizadas durante a permanência do objeto no estado. E a saída são as atividades realizadas imediatamente antes da saída do estado atual.

Enquanto os diagramas de sequência permitem a representação das interações entre os objetos ao longo do tempo, os diagramas de classes descrevem as interdependências dos objetos e seus atributos [83].

A Figura 40 apresenta o diagrama de classe simplificado, representando as classes que interagem no processo de usinagem. Nesse diagrama há a classe sistema, representando o sistema de monitoramento do ambiente inteligente e de rastreamento do produto. O sistema está associado à classe Gestor, que recebe dados e informações para a tomada de decisão, e a três pacotes “ProdutoUsinagem”, “GerarOrdemProducao” e “ProcessoUsinagem”.

Pacotes são contêineres usados para agrupar outras classes, de forma a organizar o modelo, de forma simplificada, em partes relacionadas entre si [81].

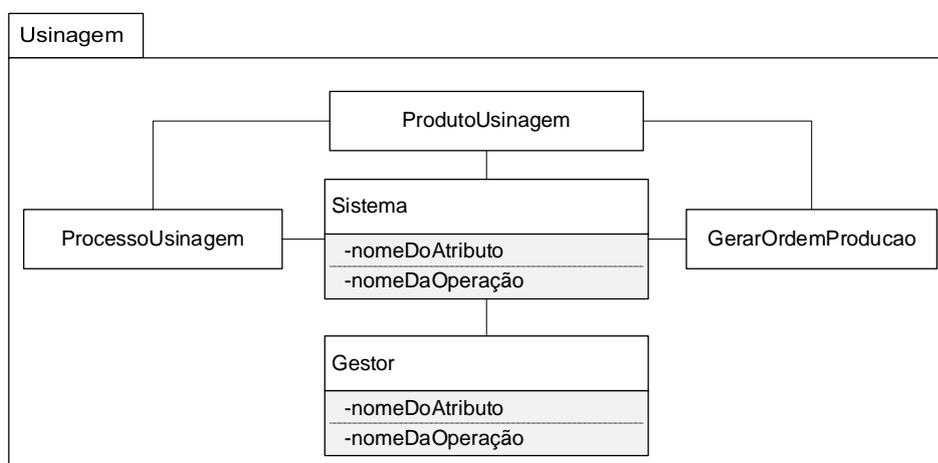


Figura 40:Diagrama de classe resumido

O pacote “ProdutoUsinagem” representa a associação do sistema com o produto, durante o processo de usinagem. O pacote “GerarOrdemProducao” se refere às associações entre as classes que irão transformar um pedido do cliente em uma ordem de produção. E o pacote “ProcessoUsinagem” representa a integração do sistema os recursos no chão de fábrica que irão realizar os procedimentos de usinagem. Os três pacotes recolhidos, são apresentados em forma expandida no Anexo 19, Anexo 20 e Anexo 21 respectivamente.

No diagrama de classe também é possível apresentar relações de agregação, que representa um relacionamento onde várias partes compõem um todo. Na Figura 41, a estação de trabalho usinagem representa o todo, e é composta pela classe máquina (CNC), por dispositivos (qualquer dispositivo tecnológico que tenha dados atrelados), pelo buffer (que aloca MP a ser usinados) e pelo sistema de controle de qualidade, que podem ser compostos por dispositivos (de campo e controle).

Os dispositivos acoplados aos recursos e ambiente inteligente, devem ser monitorados, de forma que seja garantido que os dados obtidos e fornecidos estejam com a qualidade adequada. Esta informação pode ser armazenada na classe do próprio dispositivo, e gerar um histórico da qualidade do dado obtido por ele, ou um histórico do tempo de vida do dispositivo, por exemplo.

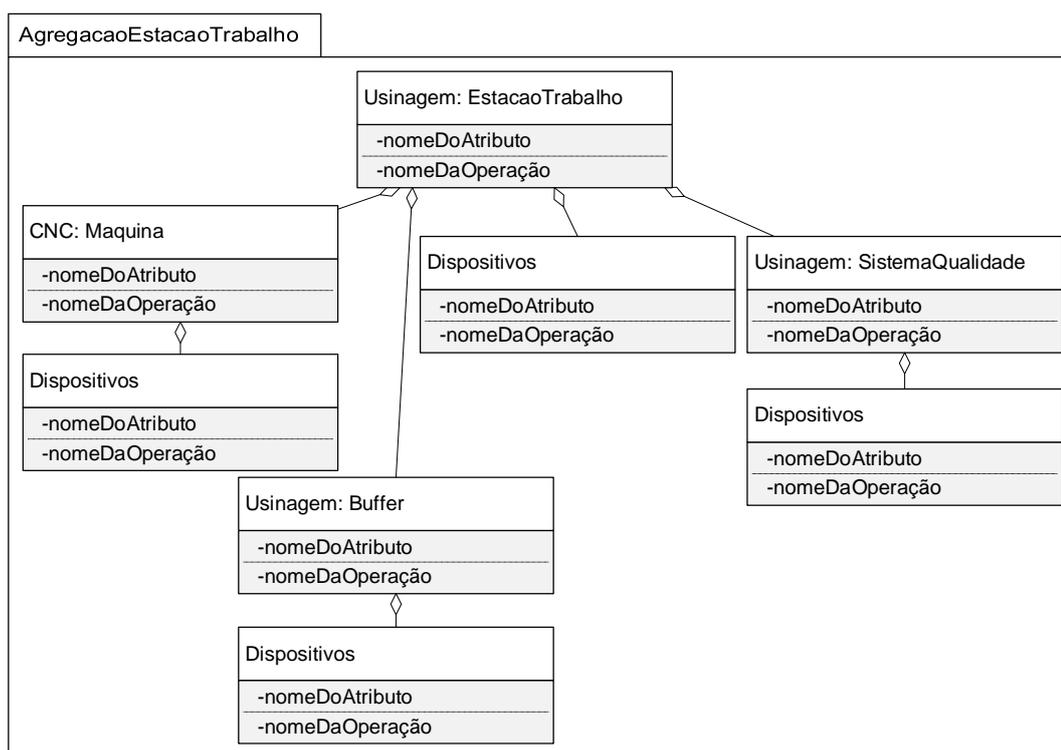


Figura 41: Diagrama de classe - Agregação das classes no processo de usinagem

Nos diagramas apresentados, é considerado que as interações ocorridas durante a Usinagem, são realizadas pela estação de trabalho, pois ela é composta por subestruturas com diferentes propriedades. E representar essa relação pela estação de trabalho, torna o entendimento do sistema mais fácil.

Outro tipo de relação é a especialização-generalização. O qual existe uma superclasse, ou classe base que inclui os atributos, operações e relacionamentos comuns às subclasses (ou classes derivadas), que herdam da superclasse os atributos, as operações e os relacionamentos comuns, além de possuírem seus próprios. Os atributos descrevem características estruturais e as operações, comportamentos que permitem ao objeto se comunicar, agir e reagir aos outros objetos e sistema.

A estação de trabalho, por exemplo é uma superclasse das estações específicas, que inclui a montagem, Controle de qualidade final, usinagem, abastecimento e o supermercado. Esta relação é apresentada nos atributos e operações é apresentada no Anexo 22 e Anexo 23.

Nesta etapa também é realizada a revisão da documentação. É importante ressaltar que todos os documentos de caso de uso e modelos apresentados neste capítulo são a versão final obtida até o momento de publicação deste trabalho. Todos foram atualizados e modificados ao longo do projeto, à medida que foi obtida uma visão mais aprofundada do Demonstrador. As informações e compreensão do sistema foram refinados de forma iterativa e incremental para incluir quantidades crescentes de detalhes. Os modelos foram discutidos e aprovados pelo comitê de aprovação

### **5.3 Detalhamento**

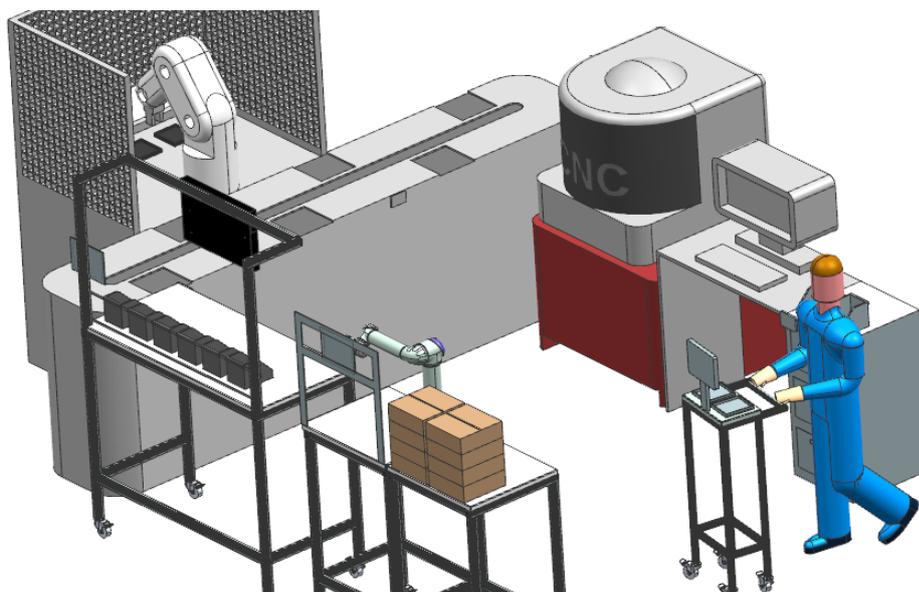
Tendo o modelo do sistema, foram analisadas as tecnologias para definição de hardware, software e infraestrutura do sistema, incluindo banco de dados.

#### **5.3.1 Arquitetura e documentação do sistema**

A implementação do Demonstrador de Indústria 4.0 contou com várias equipes diferentes. Quatro foram responsáveis pela implementação das estações de trabalho físicas, duas pelos sistemas de gestão, sendo eles o sistema MES e o

sistema de integração (Indústria 4.0), e uma pela modelagem e programação do banco de dados.

Como previsto para a Etapa 1 do projeto, Tabela 5, as estações físicas a serem implementadas foram a Usinagem (CNC), Abastecimento das garras (Esteira e Robô Mitsubishi) e a Montagem (bancada de montagem), e na Etapa 2, incluiu também o Controle de Qualidade Final (Pollux). A Figura 42, apresenta um modelo 3D do demonstrador de Indústria 4.0.



*Figura 42: Modelo 3D do demonstrador de Indústria 4.0*

A implementação de cada uma das respectivas máquinas e recursos contou com uma equipe de quatro pessoas, que instalaram e programaram as máquinas para realização dos procedimentos de produção do Produto 1 com customização de forma, implementaram dispositivos e sistema poka yoke para evitar erros e auxiliar o operador nos procedimentos, implementaram sensores e tecnologias para auxílio do operador e para coletar dados, e tecnologias para integração com o banco de dados e com os sistemas de gestão.

Um levantamento da arquitetura do sistema é apresentado parcialmente na Tabela 8, onde foram definidos os dispositivos de campo e controle, as linguagens de programação, protocolos de comunicação e formato de dados. A tabela completa é apresentada no Anexo 24.

Cada uma das estações é composta por um Raspberry Pi, que possui comunicação com o banco de dados, com o sistema de gestão MES e com o sistema de integração da linha. O Raspberry Pi recebe dados dos sinais captados por sensores integrados a ele, e envia diretamente para o sistema MES, o qual recebe os dados em formato XML, que por sua vez processa os dados e os vincula aos processos o qual este está relacionado. Os dados alimentam Dashboards, gráficos e informações avançadas sobre o processo produtivo.

*Tabela 8: Arquitetura estações de trabalho*

<b>Estação de trabalho</b>	<b>Usinagem</b>	<b>Abastecimento Garras</b>		<b>Montagem</b>
<b>Máquina/Recurso</b>	<b>CNC</b>	<b>Esteira</b>	<b>Robô Mitsubishi</b>	<b>Bancada de Montagem</b>
<b>Documentação</b>	Esquema elétrico, Diagrama de comandos instalado na máquina	Esquema elétrico	Circuito de interface	Esquema elétrico
<b>Instalar</b>	Manutenção do equipamento, posicionamento no layout, restrições elétricas, área social, suporte para fios e cabos, estrutura estética			
	Integração com fornecedor externo, estrutura para descarte de peças refugadas	Montagem do painel elétrico, troca de correias, construção do suporte de monitor	Construção de uma estrutura de segurança e proteção, para que o operador não tenha proximidade com o robô, e suporte para posicionar as peças no local correto e o refugio	Construção da estrutura da bancada de montagem

Pelo MES, é possível cadastrar a ordem de produção (com um identificador de peça [*part number*]) e monitorar a mesma, de modo que informações estruturadas sejam formadas e apresentadas aos gestores e líderes, para apoiar a tomada de decisão.

Neste ambiente, os KPIs são acompanhados em tempo real de modo a alcançar grande visibilidade do que ocorre no ambiente de produção. Dentre os KPIs acompanhado, inclui-se o número de peças produzidas (comparadas com o planejado), OEE, paradas programadas (técnica, organizacional, setup) e não programadas e a qualidade da peça produzida (boa, retrabalho ou ruim). E esses dados são organizados de tal forma que relatórios são gerados para a gestão.

O sistema de integração (SI) irá controlar e gerenciar todo o sistema em tempo real, monitorar o andamento do processo, rastrear o produto, e definir as ordens e procedimentos a serem adotados por cada estação, produto e operador.

O SI recupera um dado do BD, analisa o sinal recebido, identifica as ações a serem tomadas com base naquele sinal, toma uma decisão, e encaminha a resposta (comando) para a máquina, operador ou produto à qual a decisão se aplica. O resultado do sinal enviado é atualizado e armazenado no banco de dados. Este projeto está em andamento, e ele conta com as definições de banco de dados e formato de dados apresentados na Tabela 8.

Cada equipe planejou o processo de desenvolvimento e implementação das decisões e tecnologias indicadas. Além do projeto, foi documentada a lista de materiais mecânicos e elétricos com a descrição do material adquirido, fornecedor, quantidade, preço unitário e preço total. Foram realizadas reuniões semanais, para alinhamento das atividades, discussão de ideias entre as equipes, e definição de medidas a serem tomadas.

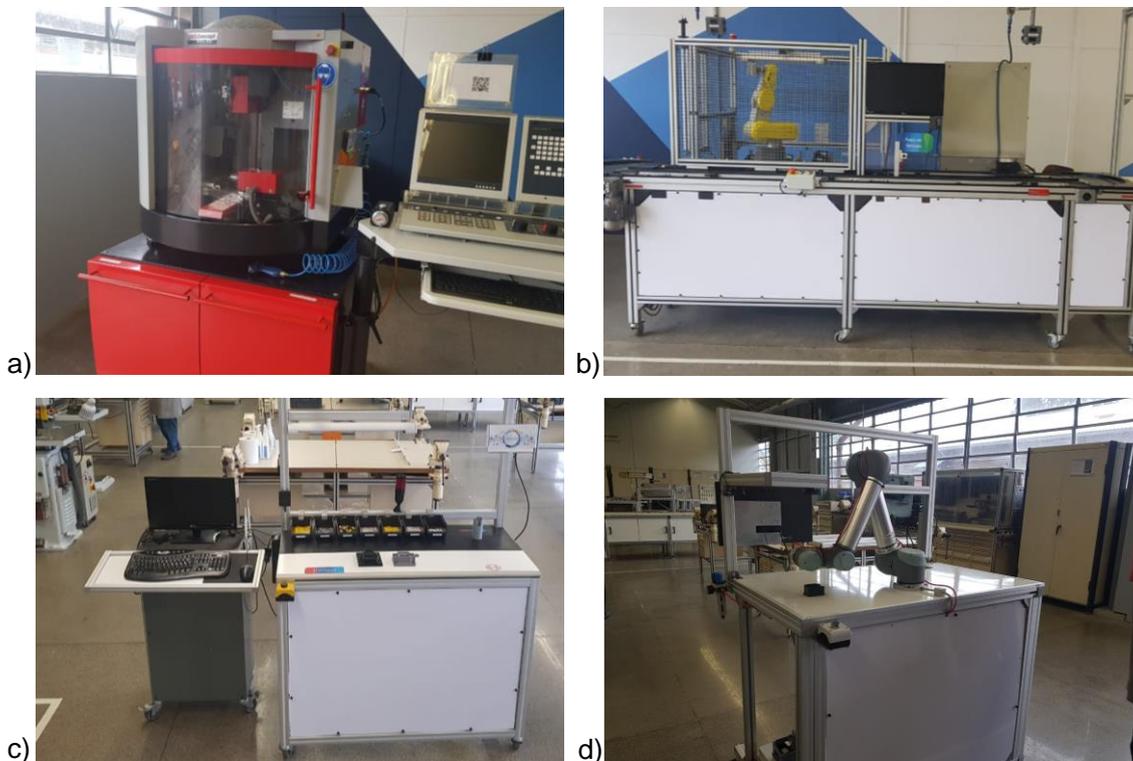
## **5.4 Implementação**

Com base na arquitetura do sistema, e um planejamento detalhado das equipes, foram adquiridos os recursos adequados para implementação, sendo que grande parte estavam disponíveis para uso, no próprio departamento. No entanto, também foi necessário contratar serviços de departamentos externos e firmar acordos de pesquisa, ao que tange as atividades de desenvolvimento e implementação dos softwares de gestão.

### **5.4.1 Resultados**

Uma foto da estação de usinagem (a), do abastecimento de garras (b), da estação de montagem (c) e do controle de qualidade (d) do Demonstrador são apresentadas na Figura 43.

Todo o processo de planejamento e implementação foi acompanhado por mais de 2 anos, e dados relativos foram obtidos para análise do andamento do projeto, cumprimentos dos requisitos e monitoramento do grau de maturidade final.



*Figura 43: Estações de trabalho implementadas*

No total, foram planejadas no roteiro estratégico, que seriam realizadas 10 subprojetos durante a etapa 1 (Anexo 13), e 12 subprojetos na etapa 2 (Anexo 14).

Na Figura 44 é apresentado o resultado geral do desempenho das equipes até o presente momento.

Na realização da Etapa 1, foram finalizadas 7 atividades, e 3 ainda estão em andamento, que se referem a implementação do sistema MES, e à estrutura de integração com o gestor e com o cliente. Já a Etapa 2 possui 1 atividade finalizada, e 5 em andamento (relacionadas principalmente à implementação das estações de trabalho). Devido ao sistema de dependência entre as atividades, ainda há cinco atividades aguardando autorização para início.

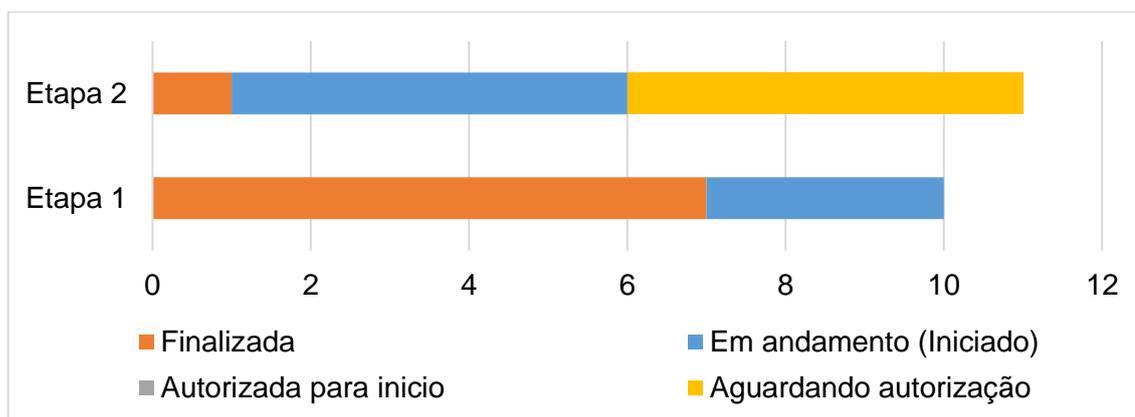


Figura 44: Status das atividades

A Figura 45 apresenta o agrupamento de todas as atividades planejadas no roteiro estratégico, da etapa 1 e 2. Nele é observado que 38% delas já foram finalizadas e estão em andamento. Enquanto 24% aguardam autorização para início, e nenhuma (0%) estão autorizadas para início.

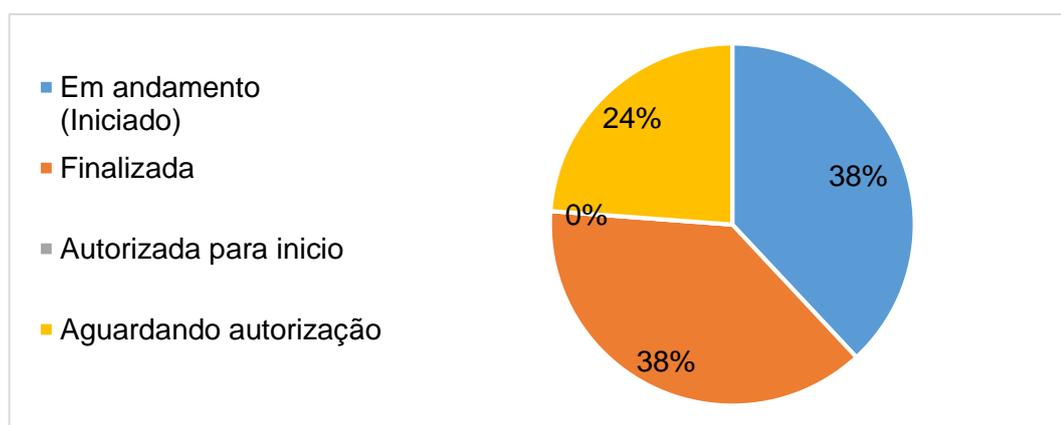


Figura 45: Atividades realizadas na etapa 1 e 2

A categoria “Autorizada para início” significa que todas as dependências anteriores a essa atividade já foram cumpridas, no entanto ela não foi iniciada devido a questões técnicas por exemplo, ou devido à falta de recurso humano para sua implementação.

Cada atividade do roteiro estratégico está diretamente relacionada a requisitos específicos. Esta relação foi realizada de tal modo que a porcentagem de implementação de uma atividade, esteja automaticamente relacionada à

porcentagem de implementação de um requisito. Sendo que uma atividade possui um ou mais requisitos atrelados.

É importante ressaltar que um requisito pode estar vinculado a várias etapas. Por exemplo, um dos requisitos definidos é que todas a estação de montagem tenha sensores para monitoramento de processo. Ele é aplicado tanto na etapa 1 quanto na 2, que possui diferentes focos de sensoriamento do processo, uma vez que:

- Na etapa 1, o objetivo é a produção do produto 1 com customização de formato. Neste processo, os dados serão obtidos e atualizados no MES. A implementação deste requisito é previsto para o subprojeto V1.7 (Anexo 13).
- Na etapa 2, o objetivo é a produção do produto 1 com customização de cor. Neste processo, os dados serão obtidos e atualizados tanto no MES quanto no Sistema de Integração. A implementação deste requisito é previsto para o subprojeto V2.8 (Anexo 14)

Sendo assim, a taxa de implementação deste requisito é calculada com base na média entre a implementação do mesmo, na etapa V1.7 e 2.8.

Devido à alta integração entre os requisitos, as etapas e o subprojetos, é apresentado na Figura 46, o resultado geral de implementação dos requisitos, referente ao que se espera implementar para as etapas 1 e 2. Em relação aos percentuais gerais, a figura aponta que 23 dos requisitos estão em 0% de implementação, 78 com 25%, 35 entre 26% e 50%, 9 requisitos entre 51% a 99%, 0 entre 76% e 99% e 32 foram 100% implementados.

Alguns requisitos, foram definidos com base nas características definidas pelo indicador de maturidade e, portanto, possuem relação direta com as características de maturidade. Eles foram documentados de forma que sua porcentagem (%) de implementação esteja vinculada com a porcentagem de implementação das características de maturidade, impactando diretamente o grau de maturidade dos recursos presentes no Demonstrador. Os dados estão

associados de tal forma que a atualização e acompanhamento de implementação de ambas as listas são realizadas automaticamente.

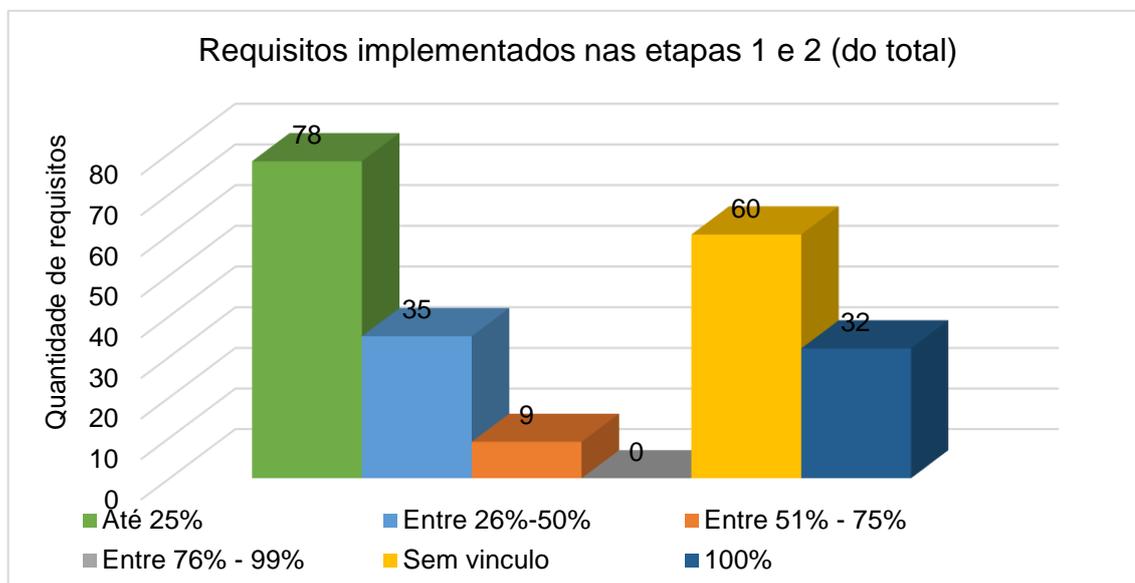


Figura 46: Requisitos implementados

Esse impacto foi monitorado, de modo a identificar, por meio de um gráfico radar, o estágio de maturidade alcançado pelos recursos do ambiente do Demonstrador. O resultado é apresentado na Figura 47.

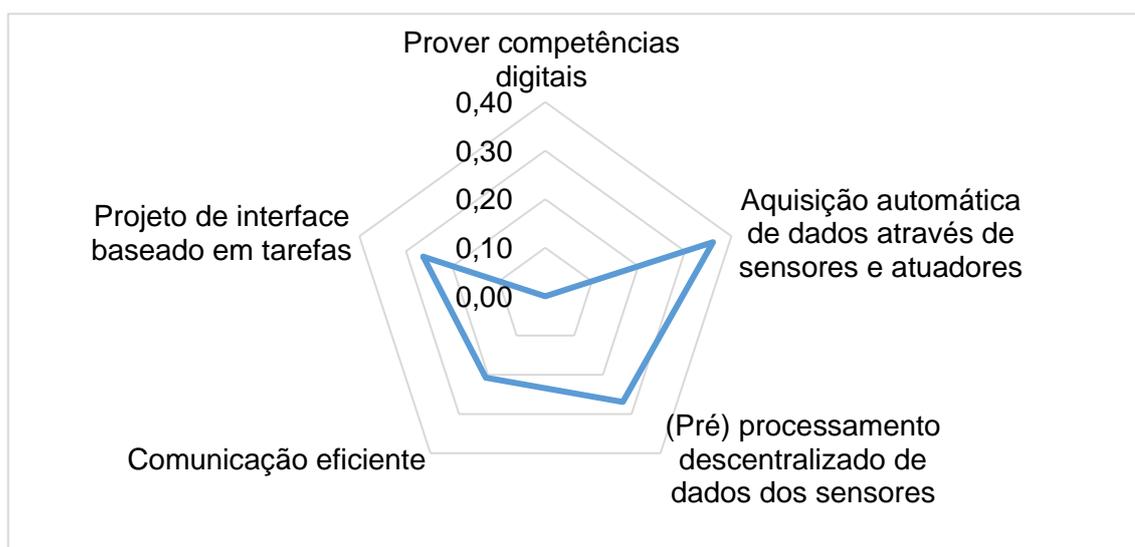


Figura 47: Grau de Maturidade do Demonstrador atualmente

Os eixos do gráfico radar, fazem referência as cinco competências definidas por Schuh [3]. Os cálculos são realizados de tal forma, que o objetivo é alcançar a

pontuação 1,0 em cada um dos eixos, para que seja alcançado o grau de visibilidade desejado para a etapa 1 e 2.

Como pode ser observado, as competências relacionadas a implementação de tecnologias são àquelas com maior pontuação, isso se deve a maior disponibilidade de recursos técnicos para implementação das estações de trabalho e as tecnologias de sensorização e processamento de dados.

O eixo “prover competências digitais” possui pontuação zero, pois esta competência está relacionada ao desenvolvimento de *soft* e *hard skills* nos gestores e operadores. As atividades relacionadas a este tópico ainda não foram iniciadas e fazem parte principalmente do planejado para a etapa 3 e 4.

E a competência “comunicação eficiente” também possui uma baixa pontuação, pois é impactada fortemente pela implementação de sistemas de gestão e controle, e pela comunicação dos recursos. Atividade que ainda está em desenvolvimento.

O roteiro estratégico prevê a realização de mais duas etapas, cujos requisitos e impactos no grau de maturidade não foram compilados neste trabalho.

## 6 Considerações finais e trabalhos futuros

Para apoiar as empresas na transformação digital, com práticas da Indústria 4.0 e orientá-las estrategicamente, é essencial definir a estrutura e a metodologia das diretrizes de implementação, respeitando restrições e prioridades definidas, sejam elas para o alcance de necessidades da linha de produção da empresa, seja para a implementação de um demonstrador de Indústria 4.0.

Este projeto alcançou o objetivo proposto, pois o método construído utilizou de ferramentas consolidadas da literatura, para apoiar todo o processo de planejamento teórico até a implementação prática de um sistema demonstrativo, seguindo boas práticas de gestão de projetos, para alcançar o grau de maturidade Visibilidade.

Sendo importante destacar o desenvolvimento do trabalho em parceria com uma empresa de manufatura, no qual, devido a parceria entre academia e indústria, as ferramentas teóricas puderam ser validadas em um ambiente prático, que contou com profissionais técnicos qualificados, para a realização de discussões e testes. Um dos pontos que pode ser destacado, é a importância da integração e participação da alta gerência, para firmar parcerias de estudo, incentivar as equipes, e apoiar o andamento do projeto com o menor grau de interrupção possível. Assim como a participação da equipe técnico e acadêmico para a realização de debates e discussões que levaram a identificação de melhorias para todo o projeto.

Apesar deste método ter sido desenvolvido para a implementação de sistemas demonstrativos de Indústria 4.0, ele tem grande potencial de adaptação para que seja utilizado em outros projetos na área de Indústria 4.0, sejam eles projetos de aplicação em empresas e corporações, sejam para apoiar outros estudos acadêmicos da área.

Entre os temas tratados, pode ser destacado o uso do RAMI 4.0 para o desenvolvimento da arquitetura de comunicação do sistema inteligente. O RAMI 4.0, como apresentado no capítulo 2.2, fornece a base para o desenvolvimento de projetos referentes à Ind. 4.0, por tratar de normas, regras e padrões para a

implementação de aplicações tendo em vista um cenário global. Um dos grandes desafios trazidos neste modelo, é seu uso prático, uma vez que ele é amplo e abstrato. O RAMI 4.0 foi aplicado neste trabalho, no desenvolvimento de uma arquitetura de comunicação para o sistema implementado, tendo sua aplicação discutida e apresentada ao longo deste trabalho. Com isto, pode-se constatar que sua aplicação pode ser utilizada como base para novos projetos, seja sob perspectiva e iniciativa de uma instituição privada (respeitando normas e padrões utilizados nesta corporação específica) ou da área acadêmica.

A mesma consideração pode ser empregada para o uso do Modelo de Maturidade, que tem se consolidando como uma ferramenta para mapear a maturidade das corporações, que é aplicada cada vez mais no ambiente prático.

Um tema de destaque deste trabalho, que é de grande interesse da área acadêmica atualmente, principalmente àquela voltada a pesquisas do campo de Engenharia de Produção e soluções para Indústria 4.0, é a descrição da aplicação e uso do DSR no desenvolvimento desta pesquisa. Como discutido no Capítulo 3.4, as etapas e os ciclos propostas no método de pesquisa se complementam de forma que, comprovado neste projeto, apoiam pesquisas realizadas em parceria com a indústria, no campo de Indústria 4.0. Portanto, a aplicação do método pode favorecer estudos e pesquisas voltados ao tema, dando base para que outros autores apliquem o método em seus projetos, incluindo àqueles realizados em parceria com a indústria.

Espera-se que este projeto também ajude outras organizações acadêmicas e industriais a projetarem soluções relacionadas ao tema, adequadas aos seus objetivos e necessidades. Dessa forma, a questão de pesquisa e os objetivos foram respondidos pela aplicação do método.

Outro ponto a se destacar neste trabalho, é a importância de dividir um grande projeto em pequenas partes que se complementem e que distribua da melhor forma possível, a força de trabalho e recursos disponíveis para uso. Com um roteiro de implementação corretamente estruturado, é possível obter previsões (de prazo, custo...) assertivas e permite um melhor balanceamento das atividades realizadas pela equipe.

Quanto a implementação do método, se propõem como atividade futura, analisar o grau de maturidade das áreas estruturais Sistemas de Informação, Cultura e Estrutura Organizacional. Além da aplicação de metodologias ágeis para gerenciamento de projetos, que podem ser melhor abordadas e utilizadas para projetos de Indústria 4.0, ou de modelos e tecnologias inovadoras, como por exemplo o Scrum.

Outro trabalho futuro recomendado, é a realização de uma simulação aprofundada da linha, para que haja um melhor balanceamento da mesma, considerando principalmente a atuação dos operadores ao longo do processo. Considerando que os operadores podem ser pessoas altamente treinadas e com facilidade de realização dos procedimentos, até mesmo pessoas que não possuem tal maturidade. Neste cenário, é adequado uma análise de balanceamento dos operadores para a produção de diferentes mix de produtos.

Também deve ser ressaltado a importância do treinamento dos operadores e gestores em um ambiente inteligente. Este treinamento pode ser apoiado por tecnologias de realidade virtual e assistida. Podendo ser estendido para colaboradores de manutenção. Este tópico é importante para alcançar os objetivos da corporação com o demonstrador, e, portanto, pode ser tema de trabalhos futuros, que tenham como foco a análise do impacto de novas tecnologias e modelos de negócio em treinamentos, ou então para análise de melhores práticas para a realização de treinamentos.

## 7 Bibliografia

- /1/ CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil*. [S.l.]: [s.n.], 2016.
- /2/ ROJKO, A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 11, n. 5, 2017. 77-90.
- /3/ SCHUH, G. et al. *Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies*. Acatech study. [S.l.]. 2017.
- /4/ ANDERL, R. Industrie 4.0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production. *International Seminar on High Technology*, 19, 2014. 1-14.
- /5/ VDI/VDE-GESELLSCHAFT MESS- UND AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. *Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)*. [S.l.]. 2015.
- /6/ KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Acatech - National Academy of Science and Engineering. [S.l.]. 2013.
- /7/ PASCUAL, D. G.; DAPONTE, P.; KUMAR, U. *Handbook of Industry 4.0 and SMART Systems*. [S.l.]: Taylor & Francis Group, v. 01, 2020.
- /8/ LIU, M. et al. Intelligent assembly system for mechanical products and key technology based on internet of things. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 28, n. 2, p. 271-299, October 2014.
- /9/ PISCHING, M. A. *Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na Indústria 4.0*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2018.
- /10/ QIN, J.; LIUA, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing / for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 56, 2016. 173-178.
- /11/ CECIL, J. et al. An Advanced Cyber Physical Framework for Micro Devices / Assembly. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS: SYSTEMS*, 2017.

- /12 NAZARENKO, A. A.; CAMARINHA-MATOS, L. M. *Basis for an Approach to / Design Collaborative*. DoCEIS 2019: Technological Innovation for Industry and Service Systems. [S.l.]: [s.n.]. 2019. p. 193-205.
- /13 ANDERL, R.; FLEISCHER, J. *Guideline Industrie 4.0 - Guiding principles for the / implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses*. VDMA & partners. [S.l.], p. 30. 2016. (978-3-8163-0687-0).
- /14 WANG, S. et al. *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*. / *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
- /15 WANG, Y.; TOWARA, T.; ANDERL, R. *Technology Landscape 4.0*. *WCECS 2017: / Transactions on Engineering Technologies*, 2018. 31-45.
- /16 HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. *Design Principles for Industrie 4.0 / Scenarios: A Literature Review*. *Working Paper No 1*, 2015.
- /17 STRANG, D.; ANDERL, R. *Assembly Process driven Component Data Model in / Cyber-Physical Production Systems*. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2014 (WCECS 2014)*, San Francisco, USA, 2, October 2014.
- /18 GEISBERGER, E.; BROY, M. *Living in a networked world - Integrated research / agenda Cyber-Physical Systems (agendaCPS) (acatech STUDY)*. Munich. 2015.
- /19 POOVENDRAN, R. *Cyber-Physical Systems: Close Encounters Between Two / Parallel Worlds*. *Proceedings of the IEEE*, 98, n. 8, 2010. 1363-1366.
- /20 HANS GEELEN, O.; KRANENBURG, H. V.; BEENKER, F. *HTSM Roadmap / Embedded Systems 2015 - Laying the foundation for intelligent high-tech systems and applications*. [S.l.]. 2015.
- /21 WIENDAHL, H.-P.; REICHARDT, J.; NYHUIS, P. *Handbook Factory Planning and / Design*. [S.l.]: Springer, 2015.
- /22 SCHNEIDER, M.; KRONER, A. *The Smart Pizza Packing: An Application of / Object Memories*. *2008 IET 4th International Conference on Intelligent Environments*, Seattle, WA, 2008. 1-8.

- /23 WANG, S. et al. Cloud-assisted interaction and negotiation of industrial robots for / the smart factory. *Computers and Electrical Engineering*, 63, October 2017. 66-78.
- /24 KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Umsetzungsempfehlungen für / das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*. Acatech. [S.I.]. April 2013.
- /25 PICARD, A.; ANDERL, R.; SCHÜTZER, K. Controlling Smart Production / Processes Using RESTful Web Services and Federative Factory Data Management. *14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management System*, Cebu, Philippinen, 3-6 Dezember 2013.
- /26 ISENBERG, M.-A. et al. The Role of the Internet of Things for Increased / Autonomy and Agility. In: UCKELMANN, D.; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. *Architecting the Internet of Things*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. p. 195-226.
- /27 YUSUF, Y. Y.; SARHADI, M.; GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing: The / drivers, concepts and attributes. *International Journal of Production Economics*, v. 62, n. 1-2, p. 33-43, May 1999.
- /28 KEDDIS, N.; KAINZ, G.; ZOITL, A. A. Capability-based Planning and Scheduling / for Adaptable Manufacturing Systems. *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, Barcelona, Spain, 2014. 1-8.
- /29 YONGFEI, X. The Internet: The New Industrial Revolution. *HUAWEI*, 05 October / 2012. Disponivel em:  
<[http://e.huawei.com/uk/publications/global/ict\\_insights/201502251048/features/201502251512](http://e.huawei.com/uk/publications/global/ict_insights/201502251048/features/201502251512)>. Acesso em: 20 November 2017.
- /30 RAYES, A.; SALAM, S. The Internet in IoT—OSI, TCP/IP, IPv4, IPv6 and Internet / Routing. In: \_\_\_\_\_ *Internet of Things From Hype to Reality - The Road to Digitization*. Cham: Springer Link, 2017. Cap. 2, p. 35-56.
- /31 FAN, W. et al. The Internet of data: a new idea to extend the IOT in the digital / world. *Frontiers of Computer Science*, 6, n. 6, December 2012. 660-667.
- /32 MONOSTORI, L. et al. Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals - / Manufacturing Technology*, 65, 2016. 621–641.

- /33 PERSSON, M.; HÅKANSSON, A. A communication protocol for different  
/ communication technologies in CPS. *19th International Conference on Knowledge  
Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, 60, 2015. 1697-1706.
- /34 LÓPEZ, T. S. et al. Resource Management in the Internet of Things: Clustering,  
/ Synchronisation and Software Agents. In: UCKELMANN, D.; HARRISON, M.;  
MICHAHELLES, F. *Architecting the internet of things*. Berlin, Heidelberg: Springer  
Berlin Heidelberg, 2011. p. 159-193.
- /35 UCKELMANN, D.; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. *An Architectural Approach  
/ Towards the Future Internet of Things - Architecting the internet of things*. Berlin  
Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 1-24 p.
- /36 ZHANG, Y. et al. A framework for big data driven product lifecycle management.  
/ *Journal of Cleaner Production*, v. 159, p. 229-240, August 2017.
- /37 REIS, J. Z.; GONÇALVES, R. F. The Role of Internet of Services (IoS) on Industry  
/ 4.0 Through the Service Oriented Architecture (SOA): IFIP WG 5.7. *FIP WG 5.7  
International Conference*, 2018.
- /38 OLIVEIRA, M.; AFONSO, D. Industry Focused in Data Collection - How Industry  
/ 4.0 is Handled by Big Data. *DSIT 2019: Proceedings of the 2019 2nd International  
Conference on Data Science and Information Technology*, 2019. 12-18.
- /39 BUXMANN, P.; HESS, T.; RUGGABER, R. Internet of Services. *Business &  
/ Information Systems Engineering*, 2009. 341-342.
- /40 CRESPI, G. M. L. A. N. Shaping Future Service Environments with the Cloud and  
/ Internet of Things: Networking Challenges and Service Evolution. *ISoLA 2010:  
Leveraging Applications of Formal Methods, Verification, and Validation*, 2010.  
399-410.
- /41 SILVA, R. M. D. *Controle de sistemas reconfiguráveis de manufatura*. Escola  
/ Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2016.
- /42 SAHAL, R.; BRESLIN, J. G.; ALI, M. I. Big data and stream processing platforms  
/ for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case.  
*Journal of Manufacturing Systems* , 54, 2020. 138–151.

- /43 CONTRERAS, J. D.; GARCIA, J. I.; PASTRANA, J. D. Developing of Industry 4.0 / Applications. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 13, n. 10, 2017.
- /44 DIN/DKE. *German Standardization Roadmap - Industrie 4.0*. [S.l.]. 2018.  
/
- /45 ZVEI; PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. *Relationships between I4.0 Components – / Composite Components and Smart Production*. [S.l.]. 2018.
- /46 LAUDON, K.; LAUDON, J. *Sistemas de informação gerenciais*. 9. ed. [S.l.]: / Pearson Education do Brasil, 2010.
- /47 ZVEI. *Industrie 4.0: MES – Prerequisite for Digital Operation and Production / Management*. [S.l.]. 2017.
- /48 CONSORTIUM, I. I. *The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference / Architecture*. [S.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em: <IIC:PUB:G1:V1.80:20170131>.
- /49 LIMA, E. D. D. et al. Explorando padrões e normas associados ao RAMI 4.0: Um / estudo descritivo. *VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, n. 8, 2018.
- /50 STARK, R.; DAMERAU, T. *Digital Twin*. [S.l.]: Springer, 2019.  
/
- /51 RAUEN, H.; ANDERL, R.; FLEISCHER, J. *Guideline Industrie 4.0 - Guiding / principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses*. VDMA and Partners. Frankfurt am Main. 2016.
- /52 FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY (BMWi). / *Relationships between I4.0 Components – Composite Components and Smart Production*. [S.l.]. 2018.
- /53 TANTIK, E.; ANDERL, R. Concept of the Asset Administration Shell as a / Software-Defined System. *Fifth International Conference on Software Defined Systems (SDS)*, 2018.

- /54 CHILWANT, N.; KULKARNI, M. S. Open Asset Administration Shell for Industrial / Systems. *Manufacturing Letters*, 20, 2019. 15–21.
- /55 VDI/VDE - GMA & ZVEI. *Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - / Status Report*. [S.l.]. 2015.
- /56 PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. *Structure of the Administration Shell – / Continuation of the Development of the Reference Model for the Industrie 4.0 Component*. Berlin. 2016.
- /57 SOARES, M. *Proposta de um modelo para o gerenciamento de informações / relacionadas aos processos de montagem inteligente*. Universidade Metodista de Piracicaba. [S.l.]. 2018.
- /58 EBRAHIMI, M.; BABOLI, A.; ROTHER, E. The evolution of world class / manufacturing toward Industry 4.0: A case study in the automotive industry. *IFAC-PapersOnLine*, 52, n. 10, 2019. 188-194.
- /59 IBM. *Was kann Industrie 4.0? Und können Sie das auch?* IBM Corporation. [S.l.]. / 2015.
- /60 EROL, S.; SCHUMACHER, A.; SIHN, W. Strategic guidance towards Industry 4.0 / – a three-stage process model. *International Conference on Competitive Manufacturing*, 2016.
- /61 GÖKALP, E.; ŞENER, U.; EREN, P. E. *Development of an Assessment Model for / Industry 4.0: Industry 4.0-MM*. 17th International Conference, SPICE 2017. Palma de Mallorca, Spain: Springer International Publishing. 2017. p. 128-142.
- /62 SCHUMACHER, A.; NEMETH, T.; SIHN, W. Roadmapping towards industrial / digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, 79, 2018. 409–414.
- /63 TONELLI, F. et al. A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling / and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 era. *49th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 57, 2016. 122 – 127.

- /64 WEBERA, C. et al. M2DDM – A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing.  
/ *The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 63, 2017. 173 – 178.
- /65 RODRIGUES, L. F. *Proposta de um Roadmap para a digitalização de uma linha  
/ de montagem*. UNIMEP. [S.I.]. 2018.
- /66 KUBICEK, H. *Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte  
/ Forschungsdesigns als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer  
Forschung*. Hong Kong: Chinese University of Hong Kong, 1994.
- /67 GREGOR, S.; JONES, D. The Anatomy of a Design Theory. *Journal of the  
/ Association for Information Systems*, 8, n. 5, 2007. 312-335.
- /68 DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., V. J. A. *Design Science Research  
/ - A method for Science and Technology Advancement*. Cham: Springer, 2015.
- /69 SALLATI, C. *Proposta de um framework conceitual para o desenvolvimento de  
/ produtos inteligentes para idosos no contexto da indústria 4.0*. Universidade  
Metodista de Piracicaba. [S.I.]. 2019.
- /70 LIMA, Y. O. D.; SOUZA, J. M. D. *Designing LABORe: a Platform for the  
/ Collaborative Assessment of Technological Change in the 4th Industrial  
Revolution*. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics  
(SMC). Bari, Itália: [s.n.]. 2019.
- /71 ASDECKER, B.; FELCH, V. Development of an Industry 4.0 maturity model for the  
/ delivery process in supply chains. *Journal of Modelling in Management*, 13, n. 4,  
2018. 840-883.
- /72 DENNIS, A.; WIXOM, B. H.; ROTH, R. M. *Systems analysis and design*. 6th. ed.  
/ [S.I.]: John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- /73 COLOMB, G. G.; MONTEIRO, H. A. R.; BOOTH, W. *A Arte Da Pesquisa*.  
/ Tradução de Henrique A. Rego Monteiro. São Paulo: Martins Fontes, v. 2, 2005.
- /74 PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, INC. *Um Guia do Conhecimento em  
/ Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)*. 6ª. ed. [S.I.]: [s.n.], 2017. ISBN: 978-  
1-62825-192-0.

- /75 SELIC, B.; GÉRARD, S. *Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded / Systems with UML and MARTE - Developing Cyber-Physical Systems*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-416619-6.
- /76 FIRMINO, A. S. et al. Towards Industry 4.0: a SWOT-based analysis for / companies located in the Sorocaba Metropolitan Region (São Paulo State, Brazil). *Gestão & Produção*, 27, n. 3, 2020.
- /77 SOMMERVILLE, I. *Software Engineering*. 10. ed. [S.l.]: Pearson Education / Limited, 2016.
- /78 HARTMANN, L. et al. *Value Stream Method 4.0 – A holistic approach to analyze / and design value streams from a lean perspective in the Industrie 4.0*. 24º Seminário Internacional de Alta Tecnologia. Piracicaba: [s.n.]. 2019. p. 57-67.
- /79 ZAYAT, W.; SENVAR, O. Framework Study for Agile Software Development Via / Scrum and Kanban. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 17, n. 4, 2020. 24.
- /80 ALAN DENNIS, B. H. W. R. M. R. *Systems analysis and design*. 6th. ed. [S.l.]: / John Wiley & Sons, Inc. , 2014.
- /81 PEREIRA, L. A. D. M. *Análise e modelagem de sistemas com a UML: com dicas e / exercícios resolvidos*. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2011.
- /82 SEIDL, M. et al. *UML @ Classroom*. [S.l.]: Springer, 2012.  
/
- /83 BRUEGGE, B.; DUTOIT, A. H. *Object-Oriented Software Engineering - Using / UML, Patterns, and Java™*. 3. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2009.
- /84 CORRÊA, A. M. G. *Preservação digital: autenticidade e integridade de / documentos em bibliotecas digitais de teses e dissertações*. Universidade de São Paulo. [S.l.]. 2010.
- /85 IDENTIFICATION of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 / in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58, n. 5, 2020. 1384-1400.

/86 BONNEMA, G. M.; VEENVLIET, K. T.; BROENINK, J. F. *Systems Design and Engineering - Facilitating multidisciplinary development projects*. [S.l.]: Taylor & Francis Group, LLC, 2016.

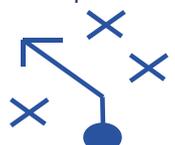
/87 BONNEMA, G. M.; VEENVLIET, K. T.; BROENINK, J. F. *System Design and Engineering - Facilitating Multidisciplinary Development Projects*. 1. ed. [S.l.]: CRP Press - Taylor & Francis Group, 2016.

/88 MEIRELES, M. *Ferramentas Administrativas Para Identificar Observar E Analisar Problemas*. 1. ed. [S.l.]: Arte & Ciência, v. 2, 2001.

## Anexo

### Anexo 1: Prover competências digitais

#### Recursos Princípio: Capacidade digital

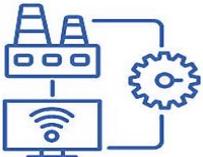
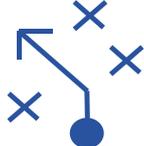
Competência 1: Prover competências digitais	
1 - Informatização 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento básico sobre Gestão da Produção</li> </ul>
2 - Conectividade 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento sobre metodologias de melhoria contínua e Lean SixSigma; e sobre aplicações interdisciplinares básicas de TI.</li> <li>• Competência de possuir responsabilidades individuais, respeitando uma hierarquia, se adaptar a diferentes trabalhos rapidamente e trabalhar baseado em dados do processo.</li> </ul>
3 - Visibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento sobre Lean 4.0, Indústria 4.0, segurança de TI, técnicas de processamento de dados e sobre Sistemas Reconfiguráveis de Manufatura.</li> <li>• Competência para usar e monitorar as tecnologias (de informação, comunicação, visualização ou outras) incorporadas; interpretar, compreender e interagir com dados da sombra digital e com os aplicativos e sistemas; tomar decisões descentralizadas baseada em dados, pensamento criativo.</li> </ul>
4 - Transparência 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento avançado em TI, segurança dos sistemas de manufatura, e identificação de melhorias em cooperação com o sistema</li> <li>• Competência para utilizar tecnologias com comportamento avançado de interação (IHM, AR, VR...); interpretar, compreender e interagir com as análises de Big Data e causa e efeito; se comportar em ambientes com menor hierarquia e liberdade para tomada de decisão descentralizada</li> </ul>
5 – Capacidade Preditiva 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Líderes devem desenvolver, em conjunto com os sistemas, algoritmos, ferramentas de análise, otimização matemática, aprendizado de máquina e IA para melhorar a capacidade preditiva do sistema</li> <li>• Competência para interpretar, compreender, confiar e interagir com os conhecimentos e simulações, previsões e propostas de soluções gerados pelo sistema.</li> </ul>
6 - Adaptabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competência para determinar e entender a automatização da tomada de decisão (análises de custo x benéfico x riscos); interpretar e compreender o aprendizado gerado pelo sistema; interagir com um sistema adaptável autônomo e tomar decisões em harmonia com as máquinas e sistemas.</li> </ul>

Anexo 2: Aquisição automática de dados através de sensores e atuadores

**Recursos**

**Princípio: Capacidade digital**

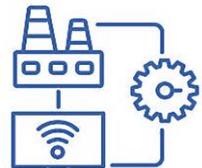
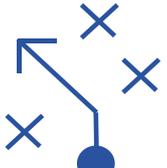
**Competência 2: Aquisição automática de dados através de sensores e atuadores**

<p>1 - Informatização</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquisição manual de dados da produção e do processo</li> <li>• Monitoramento manual do controle de qualidade por lotes</li> <li>• Manutenção não planejada e/ou corretiva das máquinas e equipamentos</li> </ul>
<p>2 - Conectividade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquisição dos dados de produção e processo ocorre manual e automaticamente com periodicidade de atualização em horas ou dias</li> <li>• Incorporação de tecnologia de identificação (ex: IP) aos recursos e estações, de sensores para obter dados do processo e de parâmetros de máquina para controle e manutenção</li> </ul>
<p>3 - Visibilidade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquisição automática de dados, com periodicidade de atualização em tempo real (segundos ou minutos)</li> <li>• Aquisição de dados dos parâmetros essenciais para controle de processo, dos recursos, da qualidade, e dos operadores</li> <li>• Rastreabilidade de produtos e recursos</li> <li>• Dados geram uma sombra digital da fábrica em tempo real</li> </ul>
<p>4 - Transparência</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rastreabilidade (localização dos recursos) em tempo real</li> <li>• Troca de dados entre o recurso físico e a sombra digital, para controle e monitoramento dos parâmetros físicos, condições dos equipamentos, fábrica e do sistema.</li> <li>• Atuadores implementam decisões automáticas</li> <li>• Sensores/atuadores estão integrados aos produtos</li> </ul>
<p>5 – Capacidade Preditiva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia com alta velocidade de propagação de sinal para apoiar capacidade de tomada de decisão descentralizada e comunicação de serviços e dados em tempo real (atualização de dados dos sensores e atuadores)</li> </ul>
<p>6 - Adaptabilidade</p> 	

Anexo 3: (Pré) processamento descentralizado de dados dos sensores

Recursos

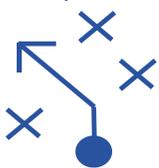
Princípio: Capacidade digital

Competência 3: (Pré) Processamento descentralizado dos dados do sensor	
<p>1 - Informatização</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e processamento manual de dados do processo e da produção em planilhas ou relatórios descentralizados.</li> <li>• Tomada de decisão centralizada na alta gestão.</li> </ul>
<p>2 - Conectividade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e processamento dos dados de produção ocorre em um sistema de gestão pouco integrado com outros sistemas de informação</li> <li>• Processamento centralizado dos dados armazenados, por meio da geração de relatórios e gráficos automatizados, havendo controle e análises manuais</li> <li>• Tomada de decisão centralizada pelas pessoas responsáveis pelo setor ou linha, seguindo uma hierarquia.</li> </ul>
<p>3 - Visibilidade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e processamento dos dados de produção e processo ocorre nos sistemas de gestão integrados, na sombra digital.</li> <li>• Controle e processamento descentralizado dos dados, realizados nas estações e recursos e atualizados no sistema central</li> <li>• Tomada de decisão descentralizada pelos colaboradores e alguns recursos. Há pouca hierarquia para a tomada de decisão de situações padronizadas, mas há hierarquia para implementação de soluções de otimização.</li> </ul>
<p>4 - Transparência</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e processamento dos dados de produção, processo e parâmetro utiliza técnicas de Big Data Analytics.</li> <li>• Tomada de decisão descentralizada para alocação de produtos e componentes para ordens específicas de produção.</li> <li>• Dados dos sensores são processados pelo produto e permite o registro da condição operacional para diagnóstico</li> </ul>
<p>5 – Capacidade Preditiva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e processamento de dados utiliza tecnologias de aprendizagem de máquina, com capacidade para simulação de cenários e previsão de falhas.</li> <li>• Tomada de decisão descentralizada para situações excepcionais padronizadas, sendo implementados apenas soluções validadas.</li> <li>• Recursos capazes de oferecer e aceitar serviços para otimizar o processo, em resposta às análises e simulações.</li> <li>• Dados são analisados, avaliados e interpretados pelo próprio produto</li> </ul>
<p>6 - Adaptabilidade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomada de decisão totalmente autônoma e descentralizada dos recursos (máquinas, equipamentos, produtos e pessoas), respeitando condições de custo x benefício das decisões</li> <li>• Recursos capazes de negociar e decidir serviços de forma autônoma, em tempo real</li> <li>• Capacidade de reação rápida e controle dos recursos a situações inesperadas</li> </ul>

Anexo 4: Comunicação eficiente

**Recursos**

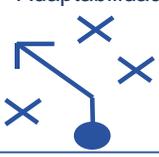
**Princípio: Comunicação estruturada**

Competência 1: Comunicação eficiente	
<p>1 - Informatização</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troca de informações H-H de forma manual, com relatórios impressos.</li> <li>• Tomada de decisão e aprovação de atividades por E-Mail ou Assinatura manual</li> <li>• Instruções de trabalho e programação da produção são desenvolvidos e comunicados manualmente ("pull system")</li> </ul>
<p>2 - Conectividade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomada de decisão e aprovação de atividades (Ex: uso de assinatura digital) dentro do sistema, com rastreamento da tomada de decisão, respeitando workflow de atividades, regras de acesso e de compartilhamento de dados</li> <li>• Há rastreamento e gestão das versões dos documentos</li> <li>• Instruções de trabalho e programação da produção são desenvolvidos dentro de um sistema de gestão ("push system" e manufatura enxuta) e comunicados via relatórios e dashboards físicos ou virtuais.</li> </ul>
<p>3 - Visibilidade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão da autorização de acesso a dados, com o uso de perfis e credenciais únicas com acesso a dados centralizados disponibilizados na hora, lugar, sem redundâncias e atualizados em tempo real, com informações dinâmicas.</li> <li>• Rastreamento da comunicação H-H</li> </ul>
<p>4 - Transparência</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicação eficiente entre H-H, M-H, M-M sobre dados, informações e tomada de decisão</li> <li>• Rastreamento da comunicação H-M, e M-M</li> </ul>
<p>5 – Capacidade Preditiva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de fornecer dados de simulação e informações adicionais (soluções ideais) aos recursos corretos no momento correto</li> <li>• Capacidade de previsão da demanda de informações e dados necessários ao recurso no momento certo, por meio do uso de algoritmos de análises e simulação.</li> </ul>
<p>6 - Adaptabilidade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de rastrear e comunicar a tomada de decisão autônoma e descentralizada dos recursos e pessoas entre os envolvidos e interessados.</li> </ul>

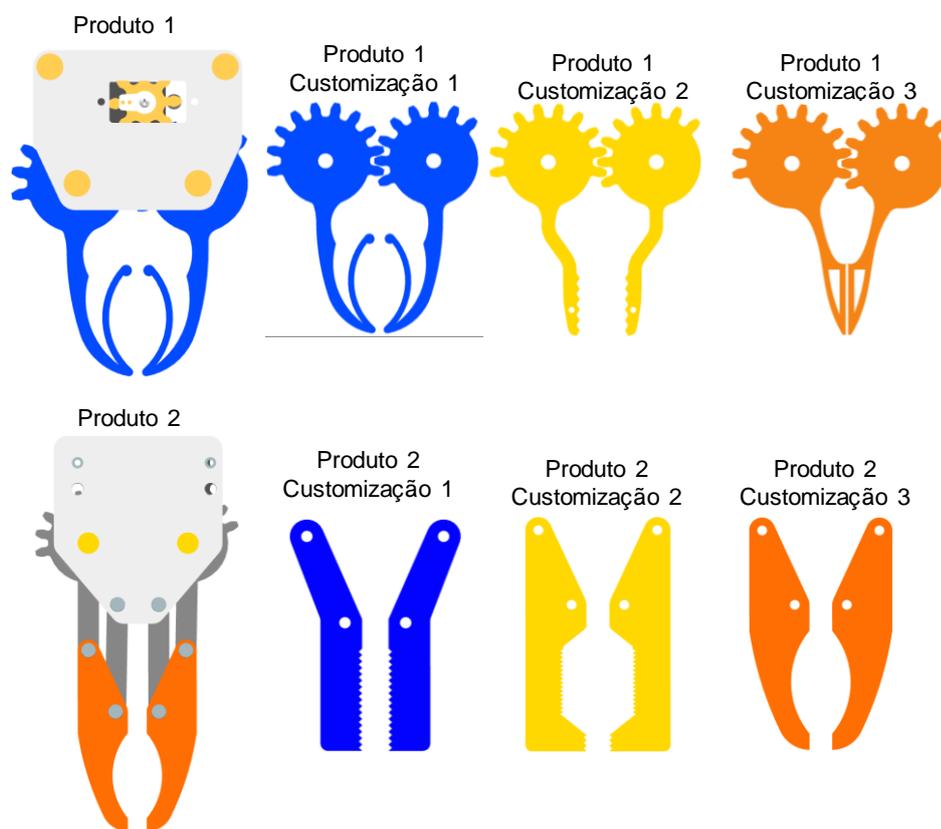
Anexo 5: Projeto de interface baseado em tarefas

**Recursos**

**Princípio: Comunicação estruturada**

Competência 2: Projeto de interface baseado em tarefas	
<p>1 - Informatização</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de dispositivos locais para visualização de dados</li> </ul>
<p>2 - Conectividade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidade de informações nos sistemas de gestão e informação, como arquivos CAD e CAM, instruções de trabalho, programação da produção e dados para gestão do sistema.</li> </ul>
<p>3 - Visibilidade</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de dispositivos móveis, IHM, e tecnologias de visualização e realidade aumentada e assistida, fornecem interface entre virtual e real.</li> <li>• Conectividade entre sistemas de controle e sensores (wireless e wired)</li> <li>• Tecnologia de auto identificação, e de descrição e reconhecimento de atributos para materiais e objetos</li> <li>• Acesso remoto aos dados e informações da máquina, equipamentos e fábrica</li> </ul>
<p>4 - Transparência</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologias de comunicação permitem criar uma rede de comunicação entre todos os recursos</li> <li>• Capacidade remota de atuar nas máquina, equipamentos e fábrica</li> </ul>
<p>5 – Capacidade Preditiva</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologias de comunicação para criar redes dinâmicas e temporárias de comunicação que permita a troca de serviços entre os recursos</li> <li>• Uso de tecnologias com capacidade de adaptação ao ambiente dinâmico em tempo real</li> <li>• Tecnologia de hardware para oferecer e pedir serviços na rede dinâmica</li> </ul>
<p>6 - Adaptabilidade</p> 	

Anexo 6: Produtos e suas customizações



## Anexo 7: Descrição dos processos do Testbed

Descrição dos processos					
Op.	Descrição da operação	Man. /Aut.	Ferramentas /Instrumento	Material	Informações
<b>Estação de trabalho 1: Usinagem CNC</b>					
0010	Abastecer CNC com material de entrada	Manual		Base pré fabricada (Fornecedor)	Instrução de trabalho Usinagem
0020	Validar fixação e quantidade de peças	Aut.			
0030	Fechar porta CNC e iniciar processo	Manual			
0040	Usinagem CNC	Aut.	CNC	2 bases	Programação
0050	Retirada do componente da CNC	Manual	Dispositivo para retirada do produto		
0060	Limpeza do equipamento	Manual	Pistola de ar comprimido	Cavaco	
0070	Retirada de rebarba	Manual	Pistola de ar comprimido		
0080	Controle de qualidade da peça	Aut.	Câmera		Desenho técnico base, Tabela de tolerâncias
<b>Estação de trabalho 2: Supermercado de pinças</b>					
0100	Cheragem do componente para abastecimento	Aut.	Câmera		
0110	Selecionar e pegar componente	Aut.	Câmera		
0120	Retirada do material do supermercado	Manual			Programa de produção
<b>Estação de Trabalho 3: Montagem</b>					
0140	Posicionar peças (base e garras) no local indicado	Manual			Instrução de trabalho montagem
0150	Montagem subconjunto 1	Manual	Molde 1	4 pinos, 1 base, 1 espaçador, 2 garras (direita e esquerda)	Desenho técnico subconjunto 1
0160	Controle de qualidade subconjunto 1	Aut.	Câmera		Tabela de tolerâncias
0170	Zeramento do servo motor	Aut.	Conector na bancada		
0180	Montagem subconjunto 2	Manual	Molde 2, Chave Phillips	1 Servo motor, 2 porcas, 2 suportes do servo, 2 parafusos m1x20, 1 base	Desenho técnico subconjunto 2
0190	Controle de qualidade subconjunto 2	Aut.	Câmera		Tabela de tolerâncias
0200	Montagem subconjunto 3	Manual	Molde 2, Chave Phillips	1 subconjunto 2, 1 engrenagem, 1 acessório, 1 parafuso central	Desenho técnico subconjunto 3
0210	Controle de qualidade subconjunto 3	Aut.	Câmera		Tabela de tolerâncias
0220	Montagem final	Manual	Model 1	1 subconjunto 1, 1 subconjunto 3, 4 anéis de fixação	Desenho técnico produto final
0230	Controle de qualidade produto final	Aut.			Tabela de tolerâncias
<b>Estação de Trabalho 4: Controle de Qualidade, Embalagem e Expedição</b>					
0250	Entregar produto para o robô Pollux	Manual			Instruções de trabalho controle de qualidade
0260	Controle de qualidade do produto final	Aut.	Câmera		Tabela de tolerâncias
0270	Embalagem do produto	Aut.			Instruções de trabalho embalagem
0280	Entregar embalagem para cliente	Aut.			Instruções de trabalho expedição
0290	Descarte (refugo)	Aut.			
<b>Supermercado de componentes</b>					
0420	Checar quantidade de material para reabastecer	Manual	Leds, câmera		Pedido de reabastecimento estações, Quantidade de materiais
0430	Abastecimento de matéria prima nas estações	Manual			Pedido de reabastecimento estações, Quantidade de materiais

## Anexo 8: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 1

Características do Nível de Maturidade "Visibilidade"	Especificação usuário	Prior.	Implementado (%)	Observações
Treinamento básico em Indústria 4.0	Operadores	2	0%	
	Gestão	2	0%	
Treinamento avançado em interpretação dos dados da sombra digital	Operadores	1	0%	Referentes aos processos e atividades de produção
Treinamento avançado em interpretação dos dados da sombra digital	Gestão	1	0%	Focados na gestão do sistema
Treinamento avançado para desenvolver capacidade de interação com a sombra digital, aplicativos e tecnologias	Operadores	1	0%	
	Gestão	1	0%	
Treinamento avançado para desenvolver confiança no sistema e capacidade de tomada de decisões baseada nos dados fornecidos	Operadores	1	0%	
	Gestão	1	0%	
Treinamento básico em Lean 4.0	Gestão	3	0%	
Treinamento básico em segurança de TI e técnicas de processamento de dados	Gestão	4	0%	
Identificação única	Robô Pollux	1	6%	Vinculo de um IP para cada recurso
	Robô Mitsubishi	1	54%	
	Esteira	1	54%	
	CNC	1	54%	
	Supermercado	1	1%	
	Bancada de Montagem	1	54%	
Identificação única	Operadores	2	75%	Cartão de Identificação
	Gestão	2	8%	
Identificação única	Componente Base	2	50%	RFID passiva, RFID ativa, QR Code...
	Componente Pinça	2	50%	
	Garra Robótica (PA)	2	50%	
	Matéria Prima (lote)	2	50%	
Interface para comunicação com o produto, ordem e/ou operador	Robô Pollux	2	0%	Leitor de RFID
	Robô Mitsubishi	2	50%	
	Esteira	2	50%	
	CNC	2	50%	
	Supermercado	2	0%	
	Bancada de Montagem	2	50%	
Fornecer dados de processo (sensores): a) tempo de operação, b) tempo de máquina, c) quantidade de peças produzidas, d) disponibilidade de matéria prima.	Robô Pollux	1	0%	a) tempo de ciclo, lead time, e operador), b) parada programada, trabalhando, em espera, quebrada, bloqueada, setup), c) aprovadas, reprovadas, d) und/tempo
	Robô Mitsubishi	1	50%	
	Esteira	1	50%	
	CNC	1	50%	
	Supermercado	1	0%	
	Bancada de Montagem	1	50%	
Fornecer dados de armazenagem (sensores)	Robô Pollux	2	0%	Disponibilidade de material, % ocupação, localização de cada material
	Robô Mitsubishi	2	0%	
	Esteira	2	0%	
	CNC	2	0%	
	Supermercado	2	0%	
	Bancada de Montagem	2	0%	
Fornecer dados de monitoramento de parâmetro (sensores): a) manutenção de máquina, b) propriedades da máquina, c) limpeza, d) controle de qualidade do processo	Robô Pollux	3	0%	a) parâmetro de corte [avanço, rotação, velocidade de corte, desgaste da ferramenta...], coordenadas, velocidade de movimento e movimentação, força aplicada, b) vibração*, temperatura do spindle*,
	Robô Mitsubishi	3	50%	
	Esteira	3	50%	
	CNC	3	50%	
	Supermercado	3	0%	
	Bancada de Montagem	3	50%	

## Anexo 9: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 2

Características do Nível de Maturidade "Visibilidade"	Especificação usuário	Prior.	Implementado (%)	Observações
Fornecer dados de qualidade dos componentes fabricados (ex: identificação de rebarba, medidas...), montados e manuseados	Componente Base	2	100%	Rebarbas e medidas
	Garra Robótica (PA)	1	100%	Funcionamento correto
	CNC	2	55%	Medidas
	Bancada de Montagem	2	10%	Montagem dos componentes
Poka yoke	Operadores	1	31%	IHM, tablet, projetor...
	Robô Pollux	1	0%	Sensor para identificação de fechamento de porta, posicionamento correto das peças, retirada de componente, processo de montagem
	Robô Mitsubishi	1	50%	
	Esteira	1	50%	
	CNC	1	50%	
	Supermercado	1	0%	
Bancada de Montagem	1	50%		
Capacidade de implementar decisões pré programadas	Robô Pollux	1	5%	Identificar parâmetro/atividade fora de padrão -> notificar o sistema e pessoas responsáveis ou tomar medida definida para solucionar problema
	Robô Mitsubishi	1	5%	
	Esteira	1	5%	
	CNC	1	5%	
	Supermercado	1	5%	
	Bancada de Montagem	1	5%	
Operadores	Operadores	1	5%	
	Operadores	2	50%	
	Componente Base	2	100%	
	Componente Pinça	2	100%	
Rastrear localização	Garra Robótica (PA)	2	100%	Ex: Leitura do cartão de identificação
	Robô Pollux	1	10%	Ex: Leitura do código único (RFID...)
	Robô Mitsubishi	1	78%	
Esteira	1	78%		
Controle de parâmetros de a) segurança do operador e b) de acesso c) de qualidade dos sinais e dados	CNC	1	78%	b) Chaves, equipamento...
	Supermercado	1	0%	
	Bancada de Montagem	1	78%	
	Planta (Testbed)	2	50%	
	Operadores	1	5%	
	Operadores	1	5%	
Vínculo dos dados dos sensores das estações para identificar: a) desempenho, b) tempo de processo e produção, c) padrão de erros e falhas, d) questões ambientais	Robô Pollux	2	0%	a) número de peças produzidas, total aprovadas, reprovadas, absentismo, b) trabalhando, parado, em movimento, bloqueado e esperando), tempo de ciclo (por produto ou operador), c) quantidade de erros realizados por operador, análise de falhas, d) ex parte operatória
	Robô Mitsubishi	2	0%	
	Esteira	2	0%	
	CNC	2	0%	
	Supermercado	2	0%	
	Bancada de Montagem	2	0%	
	Operadores	2	50%	
Vínculo dos dados dos sensores das estações para identificar: conformação de padrões de qualidade	Componente Base	1	100%	Atendimento a tolerâncias, medidas reais de cada produto, e qualidade de material
	Garra Robótica (PA)	1	100%	
Vínculo dos dados dos sensores das estações para garantir qualidade final do produto e especificações da ordem	Componente Base	1	0%	Ex: customização do produto
	Garra Robótica (PA)	1	0%	
Acesso das máquinas e/ou estações à rede	Robô Pollux	1	10%	Acesso a rede Wireless ou Wired, Internet ou Intranet
	Robô Mitsubishi	1	100%	
	Esteira	1	100%	
	CNC	1	100%	
	Supermercado	1	0%	
	Bancada de Montagem	1	100%	

## Anexo 10: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 3

Características do Nível de Maturidade "Visibilidade"	Especificação usuário	Prior.	Implementado (%)	Observações
Comunicação dos dados de chão de fábrica aos sistemas de gestão, de forma totalmente integrada em tempo real	Robô Pollux	1	10%	Data Collector, SAP, aplicativos e/ou qualquer outro sistema integrado Geração de arquivo de dados formato XML/OPC, dos sensores e atuadores, com envio e atualização dos dados no sistema Data Collector
	Robô Mitsubishi	1	20%	
	Esteira	1	20%	
	CNC	1	20%	
	Supermercado	1	0%	
Pré processamento de dados obtidos do processo, qualidade...	Bancada de Montagem	1	20%	O pré processamento está relacionado a necessidade de interação em tempo real com outra máquina ou pessoa
	Robô Pollux	1	10%	
	Robô Mitsubishi	1	55%	
	Esteira	1	55%	
	CNC	1	55%	
Uso de procedimentos pré estabelecidos para tomada de decisão e gestão de problemas	Supermercado	1	0%	Definição de ações pré estabelecidas no caso de erros ou situações adversas
	Bancada de Montagem	1	55%	
Gestão de acesso a dados e monitoramento da rede quanto a) ao acesso aos dados pelos colaboradores, máquinas e recursos e com os produtos com capacidade de comunicação e troca de dados, b) restrição de acesso de cada computador, máquina, produto, e usuários ao banco de dados, tráfego de rede, troca de arquivos, etc., c) fornecimento de relatórios com mapeamento da rede com base em atividades e usuário	Operadores	1	50%	Uso de login e senha para acessar área de trabalho e informações desejadas; Páginas web acessada, tempo que o usuário navegou na internet
	Gestão	1	5%	
	Robô Pollux	1	0%	Os recursos e estações devem respeitar restrições de acesso aos dados com garantia de segurança dos dados
	Robô Mitsubishi	1	5%	
	Esteira	1	5%	Ex: acesso aos dados relacionados a suas atividades, modelo de produto fabricado), Monitoramento do acesso aos dados dos recursos
	CNC	1	5%	
	Supermercado	1	5%	
	Bancada de Montagem	1	5%	Ex: durante os procedimentos de controle de qualidade, deve ser analisado se restrições de medições... Estão de acordo com o requisitado, Monitoramento do acesso aos dados dos produtos
	Componente Base	1	100%	
	Componente Pinça	1	100%	
	Garra Robótica (PA)	1	100%	
Gestão do fluxo de trabalho, de informações e de tomada de decisão: a) quando falhas não padronizadas ocorrem, b) quando falhas padronizadas ocorrem	Matéria Prima (lote)	1	100%	a) os operadores ou recursos devem gerar um relatório da falha, notificar o sistema e chamar manutenção, b) o sistema segue um padrão de tomada de decisão pré estabelecido e as decisões são armazenadas no banco de dados (descrição da falha, hora, usuários envolvidos e informações adicionais)
	Operadores	2	0%	
	Gestão	2	0%	
	Robô Pollux	2	10%	
	Robô Mitsubishi	2	10%	
	Esteira	2	10%	
	CNC	2	10%	
Supermercado	2	0%		
Autenticação de segurança dos dados de autorização para tomada de decisão	Bancada de Montagem	2	10%	Ex: assinatura digital, por E-Mail e/ou impressão digital
	Operadores	3	0%	
Os recursos (operadores, máquinas, produtos...) recebem informações específicas sobre os procedimentos de produção de um produto customizado e instruções de trabalho	Gestão	3	0%	Instruções de processo de produção a realizar de acordo com o modelo de produto produzido
	Robô Pollux	1	10%	
	Robô Mitsubishi	1	10%	
	Esteira	1	10%	
	CNC	1	10%	
	Supermercado	1	0%	
Bancada de Montagem	1	10%		

*Anexo 11: Características de maturidade de Visibilidade – Parte 4*

Características do Nível de Maturidade "Visibilidade"	Especificação usuário	Prior.	Implementado (%)	Observações
Definição das regras de disponibilidade de informações na cadeia de valor, incluindo informações e tecnologias que permitam a comunicação	Componente Base	4	0%	Informações sobre dimensões da base, garantia de qualidade da fabricação, lote de produção (data, hora, local), material
	Componente Pinça	4	0%	SCPM fornece informações sobre dimensão da pinça, data, hora, local, material, garantia de qualidade da fabricação
	Matéria Prima (lote)	4	0%	Garantia de qualidade da fabricação, lote de produção (data, hora, local), material
Acesso aos dados do sistemas de gestão (Data Collector e outros)	Gestão	1	5%	OEE, KPI's de produção, de desempenho, de qualidade, de pessoas, de processo e de produto.
Apresentar informações sobre o sistema de produção aos gestores e líderes	Operadores	2	50%	Uso de monitor ou dispositivos móveis com sistema operacional compatível
	Gestão	1	5%	
Apresentação das instruções de trabalho e informações sobre as operações, em uma interface adequada e de fácil uso	Operadores	2	50%	Animações, imagens, texto, realidade aumentada...
O operador poderá interagir com o sistema para obter mais intruções, informações extras ou mais detalhadas quando requerido	Operadores	2	0%	Ex: por gesto, fala...

*Anexo 12: Legenda de cores de divisão das características de maturidade*

**Legenda de cores**

**Prover competências digitais**

**Aquisição automática de dados através de sensores e a (Pré) processamento descentralizado de dados dos sen**

**Comunicação eficiente**

**Projeto de interface baseado em tarefas**

*Anexo 13: Subprojetos da Etapa 1 - Roteiro estratégico*

<b>Etapa</b>	<b>Status (%)</b>	<b>Status</b>	<b>Nome do subprojeto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Observações</b>
V1.1	100%	Finalizado	Produto	Desenvolver o produto 1 e as customizações de forma, definir o processo, regras de qualidade e processos para produção	3 customizações de formato
V1.2	100%	Finalizado	CNC	Implementar o processo de usinagem da Base do produto 1, e o processo de controle de qualidade	
V1.3	100%	Finalizado	Abastecimento Garra	Implementar o processo de abastecimento das Pinças do produto 1	Implementação da Esteira e Robô Mitsubishi integrados. E a capacidade de, automaticamente, abastecer a linha com 3 produtos diferentes, que acordo com a ordem de produção determinada.
V1.4	100%	Finalizado	Montagem	Implementar o processo de montagem do produto 1	
V1.5	100%	Finalizado	Estrutura operador	Implementar soluções para apoiar o operador durante os procedimentos de produção (ex: poka yoke, sinalizadores visuais ou sonoros, sensores e atuadores...)	
V1.6	100%	Finalizado	Integração e validação linha	Integrar a linha com as três estações, e validar a produção correta do produto	
V1.7	100%	Finalizado	Sensorização	Implementar sensores e atuadores adequados para obtenção de dados do processo, de monitoramento de máquina...	
V1.8	30%	Iniciado	Implementar Sistema MES	Implementar o sistema Data Collector, e integrar o mesmo com os sensores e sinais vindos da linha, para fornecimento automático de dados de produção	Data Collector
V1.9	10%	Iniciado	Gestão	Desenvolver uma estrutura adequada para que gestores e líderes possam acompanhar a produção	
V1.10	5%	Iniciado	Cliente	Desenvolver uma interface que permita ao cliente realizar a compra do produto de acordo com o desejado	A interface de pedido do cliente deve estar integrada ao sistema de gestão, de forma que possa ser integrado o pedido ao processo, de forma eficaz.

Anexo 14: Subprojetos da Etapa 2 - Roteiro estratégico

Etapa	Status (%)	Status	Nome do subprojeto	Descrição	Observações
V2.1	100%	Finalizado	Rastrear Produto	Determinar as cores para customização, dados necessários para o rastreamento, e avaliar modificações que o processo irá sofrer ao incorporar uma maior customização do produto	Também deverá ser integrado ao processo, a possibilidade de customização do produto por cor, além da forma. Foram definidas três cores de customização. O produto deve ser rastreado ao longo do processo produtivo, de modo que seja possível acompanhar o status de produção do mesmo
V2.2	10%	Iniciado	CNC	Atualizar processo para que haja rastreabilidade do produto	
V2.3	10%	Iniciado	Abastecimento Garra	Atualizar processo para que haja rastreabilidade do produto, e para que o sistema possa responder à customização de cor.	O abastecimento deverá ter capacidade de abastecer a linha com 9 produtos diferentes (3 formas x 3 cores).
V2.4	10%	Iniciado	Montagem	Atualizar processo para que haja rastreabilidade do produto, e para que o sistema possa responder à customização de cor.	
V2.5	10%	Iniciado	Pollux	Implementar processo de controle de qualidade do produto final, embalagem e entrega do produto final ao cliente. Deve permitir rastreabilidade do produto	Inclui a sensorização da estação e a implementação de uma estrutura de apoio ao operador
V2.6			Estrutura operador	Implementar soluções para apoiar o operador durante os procedimentos de produção (ex: poka yoke, sinalizadores visuais ou sonoros, sensores e atuadores...)	Implementação de uma interface de comunicação entre recursos e operador, que ocorre por meio de um tablet., O tablet acompanhará o operador e apresentará as instruções de produção, informações adicionais...
V2.7			Integração e validação linha	Integrar a linha com as três estações, e validar a produção correta do produto	
V2.8			Sensorização	Implementar sensores e atuadores adequados para obtenção de dados do processo, de monitoramento de máquina...	
V2.9	2%	Iniciado	Atualizar Sistema MES e implementar Sistema de Integração	Atualizar o Data Collector para integrar a nova estação Pollux e atualizar com as mudanças da linha	Atualizar o sistema MES com novos dados. O supermercado e as estações devem atualizar e notificar a necessidade de reabastecimento de material, de forma que o sistema de integração e o MES estejam integrados. Incluir rastreabilidade do produto, monitoramento dos parâmetros e dados de processo, controle de ordens de produção...
V2.10			Gestão	Desenvolver uma estrutura adequada para que gestores e líderes possam acompanhar a produção	
V2.11			Cliente	Atualizar interface do cliente para que ele possa realizar a compra de um produto com customização por cor	O pedido do cliente deve ser integrado de forma automática aos sistemas de gestão integrados ao processo de produção.

Anexo 15: Narrativa do Caso de Uso Usinagem – Cabeçalho e Curso Típico

<b>Nome do Caso de Uso:</b> Procedimento de Usinagem	<b>ID:</b> UC - 2	<b>Priorid:</b> 1
<b>Propósito:</b> Usinar duas bases da garra robótica (produto)		
<b>Descrição Geral:</b> O operador e a Estação de Trabalho CNC realizam a usinagem das bases		
<b>Atores:</b> Operador, Sistema de gestão, Estação de Trabalho, Dispositivo de Campo e de Controle.		
<b>Iniciador:</b> Operador		
<b>Pré-Condições:</b> 1. Ter materiais para usinagem disponível; 2. Estação disponível para uso		
<b>Pós-Condições:</b> Ter duas bases usinadas com qualidade aprovada		
<b>Curso Típico (CT):</b>	<b>Informações para o passo</b>	
1 Operador se posiciona na Estação de Trabalho e aciona o Caso de Uso "Iniciar Processo" e como resultado a Estação de Trabalho e o Operador recebem as instruções de trabalho e procedimentos a serem realizados de acordo com a ordem em produção		
2 O Dispositivo de Controle IHM apresenta instruções para manuseio dos materiais e realização dos procedimentos de produção ao Operador e a Estação de Trabalho realiza os procedimentos indicados.	← Instruções de trabalho	
3 Os Dispositivos de Campo e Controle (como sensores, atuadores...) enviam sinais durante os procedimentos, ao Sistema e ao Sistema de Gestão, em tempo real. (As instruções de trabalho e os sinais de acionamento podem ser identificados no Documento "Instruções de trabalho Usinagem")	→ Sinais dos processos → Dados de processo, estoque de material, controle de qualidade...	
4 Os sinais são transformados em dados e informações no Sistema e no Sistema de Gestão, e são validados para garantir que os procedimentos realizados estão corretos	(Validação dos dados do processo de Usinagem)	
5 O sistema valida os dados e confirma a correta realização das instruções de trabalho. Incluindo os procedimentos de usinagem e de controle de qualidade do componente usinado.	← Validação dos dados	
6 Quando todos os procedimentos e instruções de trabalho são finalizadas, o Dispositivo de Controle IHM apresenta uma mensagem de finalização de operação e orienta o operador para a próxima estação		
7 Ao fim do processo, o Produto (Base) é obtido com qualidade aprovada. E agora, uma identificação única é vinculada ao produto, portanto um Dispositivo de Campo (Etiqueta de identificação) deve ser associada a ele  O Sistema vincula uma identificação única ao Dispositivo de Campo (Etiqueta de identificação) anexado ao Produto e vincula a esta identificação os dados referentes ao processo, qualidade...	(Dados vinculados ao produto)	
8 A Estação de Trabalho envia um sinal ao Sistema de Gestão indicando o status em que se encontra. O Sistema de Gestão recebe o sinal e valida o fim do processo. O Sistema de Gestão atualiza o status da estação para ("Disponível").	→ Status da estação ("Disponível")	
**Fim do Caso de Uso**		

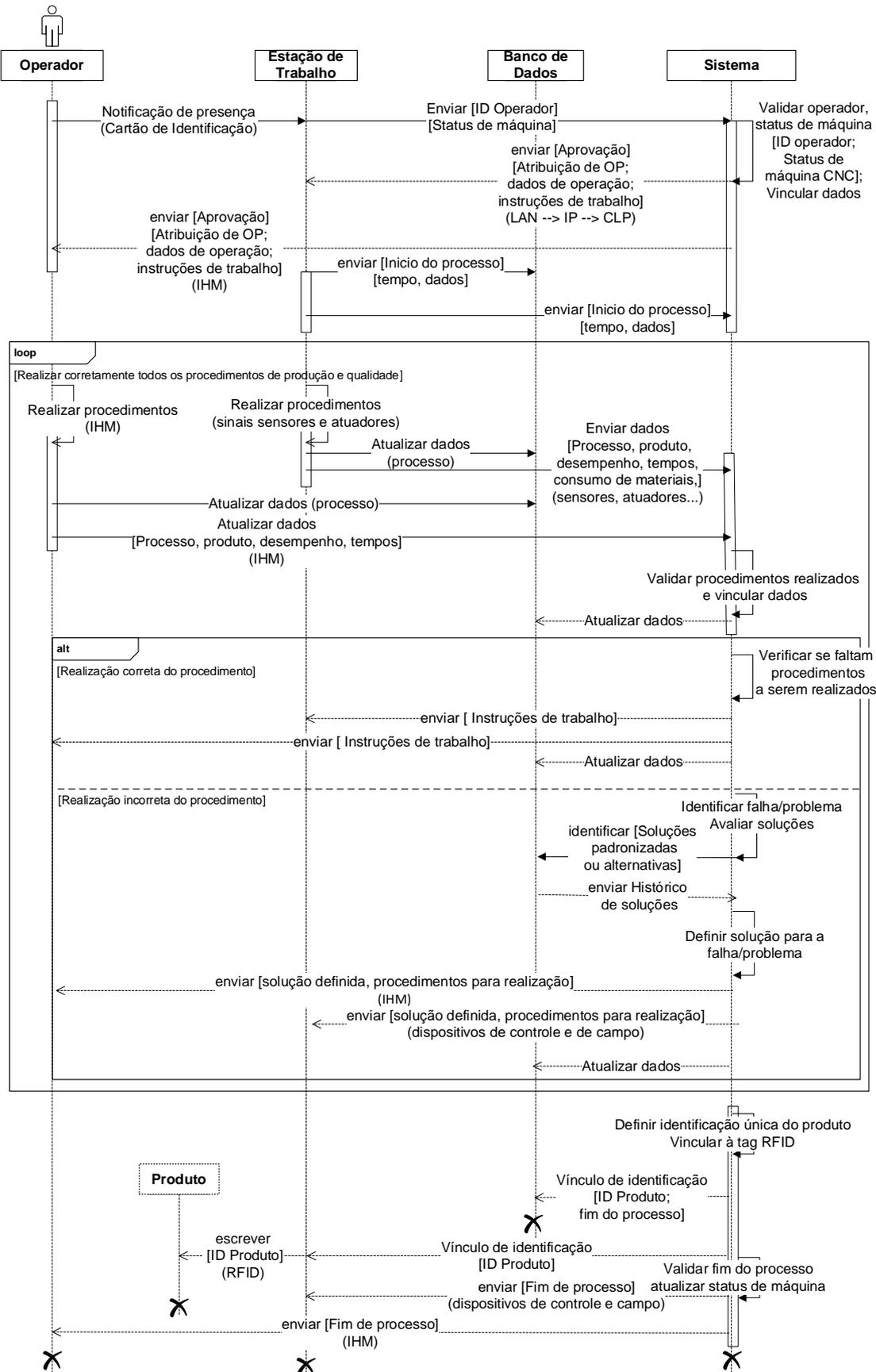
*Anexo 16: Narrativa do Caso de Uso Usinagem – Curso Alternativo e de Exceção*

<b>Cursos Alternativos (CA):</b>		
CA 1: Passo 4 do CT – Estoque mínimo alcançado		
1	O Dispositivo de Campo identifica que o estoque mínimo do Produto (Blanques) foi alcançado, e o Sistema é notificado.  Sistema notifica a necessidade de reabastecimento da M.P, na estação de trabalho.  Volta ao passo 5	←Quantidade de material disponível  →Abastecimento materiais
<b>Cursos de Exceção (CE):</b>		
CE 1: Passo 5 do CT – Realização incorreta de procedimentos		
1	Sistema identifica que o operador realizou um procedimento de forma incorreta.	→ Sinal de erro/falha
2	Se o erro for conhecido e houver uma solução padronizada, o sistema encaminha ao operador as instruções para correção do erro. Caso contrário, o sistema notifica ao Operador o erro, para que ele tome a decisão sobre a solução a ser implementada para a correção do problema.	←Instruções de correção de erro
3	O Operador documenta em uma estrutura adequada, a solução aplicada. A solução é atualizada no Banco de Dados, para análise futura.  O desempenho do operador é atualizado para melhorar o sistema de apoio ao Operador (IHM), de acordo com suas habilidades.  Volta ao passo 5	→Documentação da solução de correção de erro  →Desempenho do Operador, e histórico de falhas
CE 2: Passo 5 do CT – Qualidade do produto não aprovada		
1	Os Dispositivos de Campo e Controle (como sensores, atuadores...) enviam um sinal de reprovação de qualidade do Produto.	→ Sinal de problema de qualidade
2	O sinal é encaminhado ao Sistema e ao Sistema de Gestão, e é validado a reprovação do Produto	
3	O Sistema envia à Estação de Trabalho e ao Operador (pelo Dispositivo de Controle IHM) as instruções quando um problema de qualidade é notificado.	←Reprovação do Produto; e Instruções de correção de erro
4	O sistema vincula dados de máquina, operador, e ambiente à falha do produto, para documentação. Caso necessário, o Operador pode documentar informações adicionais sobre o problema de qualidade.  Volta ao passo 2	→Documentação da solução de correção de erro

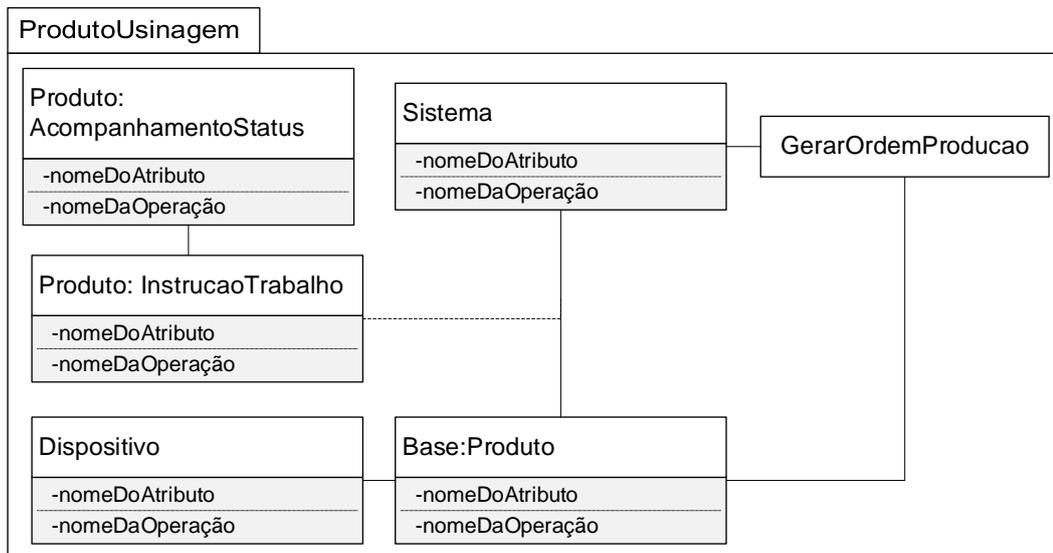
## Anexo 17: Narrativa do Caso de Uso Iniciar Processo

<b>Nome do Caso de Uso:</b> Iniciar Processo		<b>ID:</b> UC – 1	<b>Priorid:</b> 2
<b>Propósito:</b> Liberar a Estação de Trabalho para realização dos procedimentos de produção			
<b>Descrição Geral:</b> Aprovação para alocar uma Estação de Trabalho			
<b>Atores:</b> Operador, Sistema de gestão, Estação de Trabalho, Dispositivo de Campo e Controle			
<b>Iniciador:</b> Operador			
<b>Pré-Condições:</b> 1. Operador ativar caso de uso “Iniciar Processo” quando se posiciona em uma Estação de Trabalho; 2. A Estação de Trabalho estar disponível para uso.			
<b>Pós-Condições:</b> Liberação da Estação de Trabalho para iniciar processo			
<b>Curso Típico (CT):</b>		<b>Informações para o passo</b>	
1	Operador se posiciona na Estação de Trabalho alocada e valida sua presença com o Dispositivo de Campo Cartão de identificação, no Dispositivo de Controle Leitor de cartão.	→Id. do operador	
2	Paralelamente a Estação de Trabalho identifica o sinal e envia ao Sistema de Gestão o status em que se encontra	→Status da Estação de Trabalho (“Disponível”)	
3	O sistema recebe os sinais do Operador e da Estação de Trabalho e validam sua alocação, enviando um sinal de autorização e liberação da Estação de Trabalho para que o processo inicie.	← Liberação da Estação de Trabalho	
4	O sistema vincula os dados do operador, estação e da O.P a ser iniciada.	(Vínculo dos dados)	
5	O sistema identifica a customização do produto a ser produzido (O.P.) e envia à Estação de Trabalho as instruções de trabalho e programações de máquina a ser utilizada. Paralelamente o Operador recebe pelo Dispositivo de Controle IHM as instruções de trabalho que devem ser realizadas.	← Instruções de trabalho de acordo com as customizações do produto	
6	O Sistema de gestão recebe as informações e dados e atualiza o status da Estação de Trabalho de "Disponível" para "Em uso".	(Status da Estação de Trabalho)	
**Fim do Caso de Uso**			
<b>Cursos Alternativos (CA):</b>			
CA 1: Passo 1 do CT – Produto possui um identificador único e se comunica			
1	O Operador se posiciona na Estação de Trabalho, com um Produto que possua uma etiqueta de identificação única.	→Id. do Produto	
2	O sistema valida a identificação única do produto (Dispositivo de Campo Identificação Única), no Dispositivo de Controle Leitor de etiqueta. Voltar ao passo 2		
<b>Cursos de Exceção (CE):</b>			
CE 1: Passo 2 do CT – Status da Estação de Trabalho Quebrada			
1	A Estação de Trabalho envia ao Sistema de Gestão o status em que se encontra (“Falha”) <p>O sistema identifica a sinal de falha de máquina. Se o sinal ou motivo de falha for padronizada e conhecido, o sistema encaminha ao operador as instruções para correção da falha.</p> <p>Caso contrário, o sistema aciona um responsável de manutenção para correção do problema.</p> <p>*Fim do Caso de Uso*</p>	→Status da Estação de Trabalho (“Falha”) <p>← Instruções de correção de falha</p> <p>→Chamada Manutenção</p>	

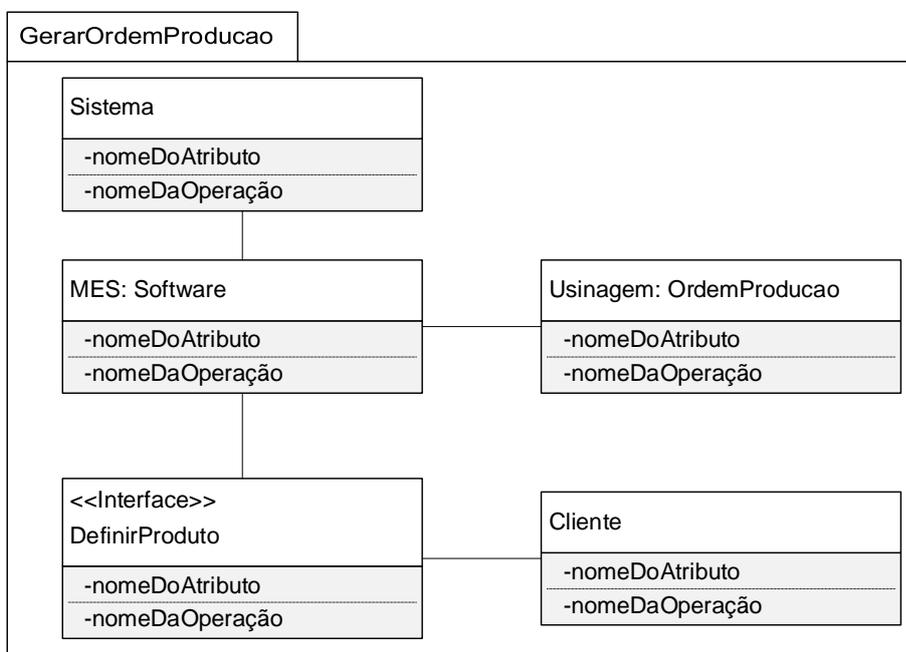
Anexo 18: Diagrama de Sequência de um processo produtivo



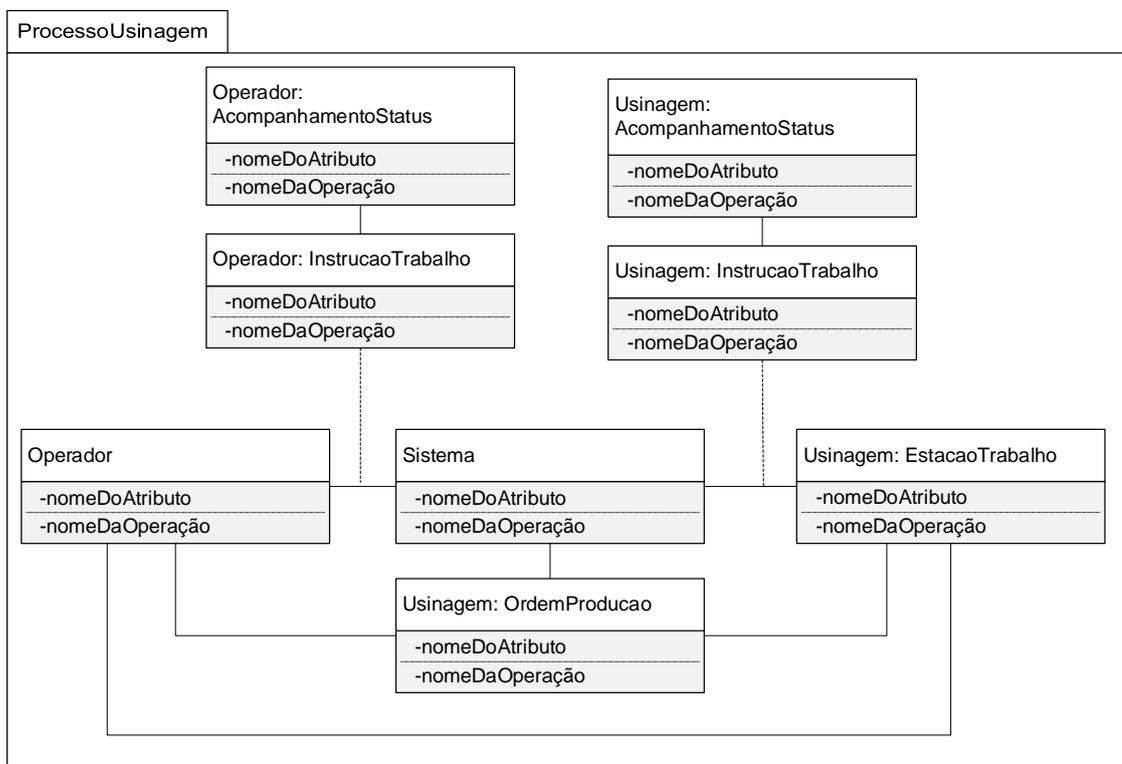
Anexo 19: Diagrama de classe – Produto Usinagem



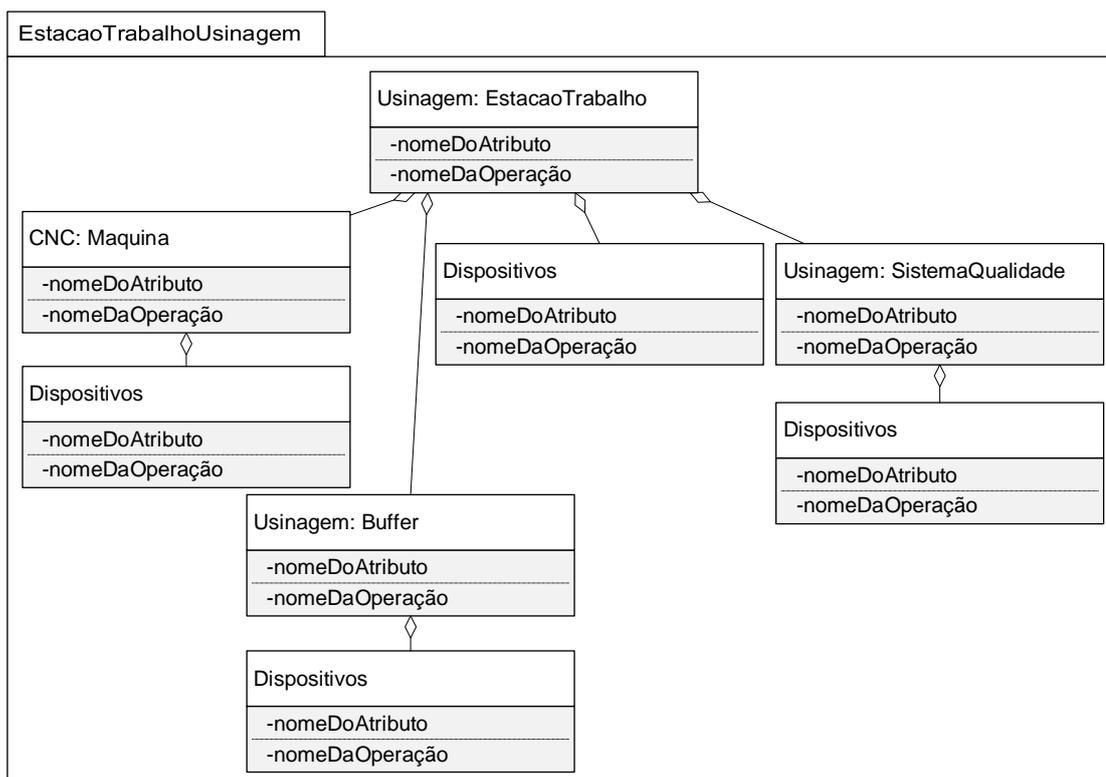
Anexo 20: Diagrama de classe – Gerar Ordem de Produção



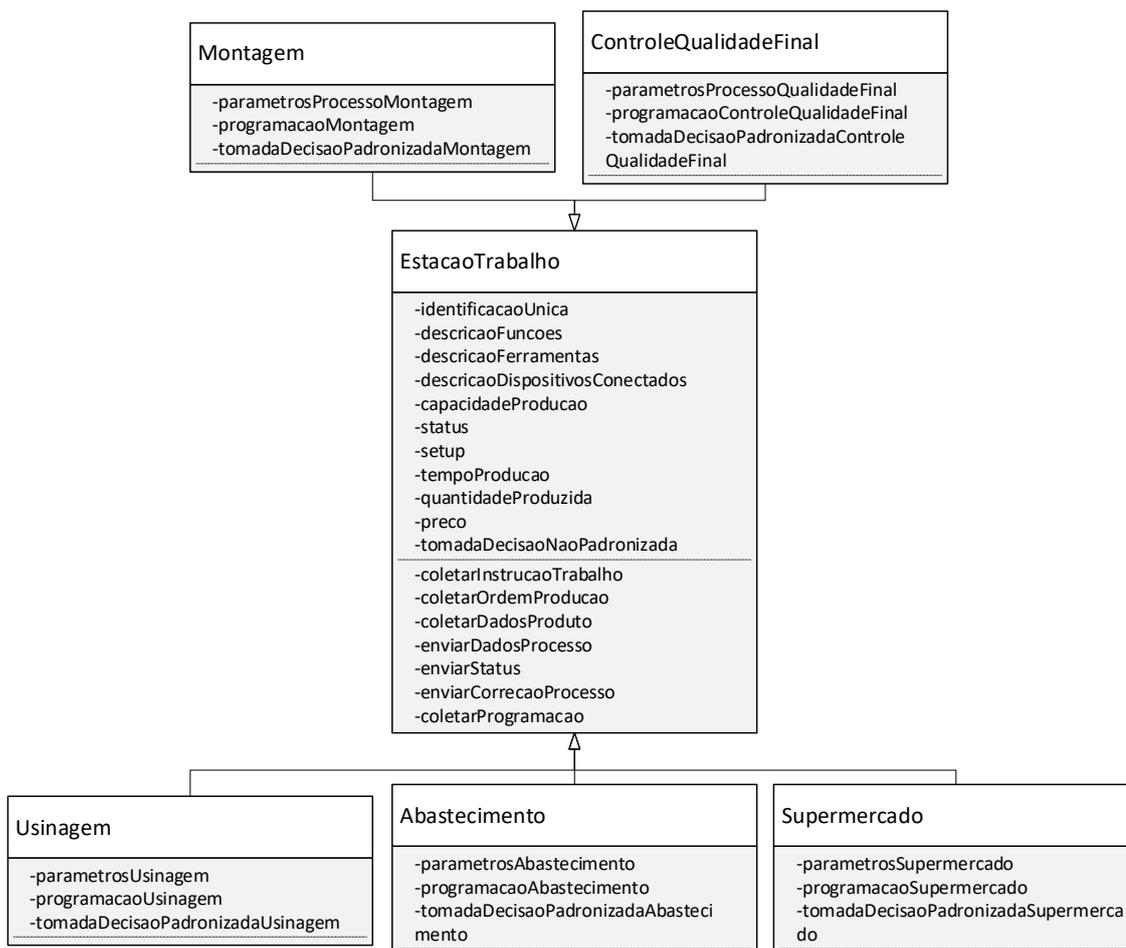
### Anexo 21: Diagrama de classe – Processo Usinagem



### Anexo 22: Estação de Trabalho



Anexo 23: Relação generalização-especialização das estações de trabalho



## Anexo 24: Arquitetura estações de trabalho

<b>Estação de trabalho</b>	<b>Usinagem</b>	<b>Abastecimento Garras</b>		<b>Montagem</b>
<b>Máquina/Recurso</b>	<b>CNC</b>	<b>Esteira</b>	<b>Robô Mitsubishi</b>	<b>Bancada de Montagem</b>
<b>Documentação</b>	Esquema elétrico, Diagrama de comandos instalado na máquina	Esquema elétrico	Circuito de interface	Esquema elétrico
<b>Instalar</b>	Manutenção do equipamento, posicionamento no layout, restrições elétricas, área social, suporte para fios e cabos, estrutura estética			
	Integração com fornecedor externo, estrutura para descarte de peças refugadas	Montagem do painel elétrico, troca de correias, construção do suporte de monitor	Construção de uma estrutura de segurança e proteção, para que o operador não tenha proximidade com o robô, e suporte para posicionar as peças no local correto e o refugo	Construção da bancada de montagem
<b>Programar máquina</b>	Código G (furação, escariamento, interpolação), e definição das ferramentas de usinagem, CLP Siemens (linguagem Graph 7)	CLP Siemens (linguagem Graph 7)	Programação Pick and Place do robô	
<b>Dispositivos e poka yoke</b>	Dispositivo para fixar e posicionar peças no CNC, para retirada do produto, pistola de ar para limpeza do equipamento	Posicionamento do operador para retirada de peça	Estrutura para reposição de materiais e retirada de refugo	Suporte de apoio dos conjuntos para a montagem, botão de início e fim de processo, sistema de home do servo motor (para zeramento)
<b>Dispositivos de Campo</b>	Posicionamento das peças (sensor chave switch), quantidade de peças (sensor fibra ótica), porta fechada do CNC (sensor fim de curso)	Sensores de posicionamento e retirada de peça	Identificação de cor e imagem, quantidade de peças no estoque e no refugo (Sensor ótico e câmera)	Alerta sonoro e luminoso para indicar posicionamento dos componentes na ordem da montagem (LEDs, e Módulo buzzer), validação da montagem dos conjuntos (câmera)
<b>Dispositivo de Controle</b>	Raspberry Pi programação Python			
<b>Protocolo de comunicação e troca de dados</b>	Comunicação entre postos de trabalho com banco de dados (JSON), com o sistema MES (XML)			
<b>Comunicação com servidor</b>	Wifi (Ethernet) com protocolo de comunicação MQTT (comunicação máquina para máquina)			
<b>Banco de dados</b>	SQL Server			