

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**INDÚSTRIA 4.0: PROPOSTA DE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO  
GRAU DE ADERÊNCIA DE EQUIPAMENTOS DE LOGÍSTICA  
INTERNA AO CONCEITO DE SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS**

**GLEISON MELHADO MATANA**

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE TADEU SIMON

SANTA BÁRBARA D'OESTE

**2019**

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**CAMPUS SANTA BÁRBARA D'OESTE**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**INDÚSTRIA 4.0: PROPOSTA DE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO  
GRAU DE ADERÊNCIA DE EQUIPAMENTOS DE LOGÍSTICA  
INTERNA AO CONCEITO DE SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS**

**GLEISON MELHADO MATANA**

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE TADEU SIMON

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

**2019**


Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP  
Bibliotecária: Gislene Tais de Souza Sperandio - CRB-8/9596.

|       |  |
|-------|--|
| M425i | <p>Matana, Gleison Melhado</p> <p>Indústria 4.0: proposta de um método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de sistemas físico-cibernéticos / Gleison Melhado Matana. – 2019.<br/>225 f.: il.; 30 cm</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon.<br/>Tese (Doutorado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Engenharia de Produção, Santa Bárbara d'Oeste, 2019.</p> <p>1. Logística. 2. Avaliação I. Simon, Alexandre Tadeu. II. Título.</p> <p>CDD – 658.5</p> |
|-------|--|

# INDÚSTRIA 4.0: PROPOSTA DE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADERÊNCIA DE EQUIPAMENTOS DE LOGÍSTICA INTERNA AO CONCEITO DE SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS

**GLEISON MELHADO MATANA**

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 21 de agosto de 2019, pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:



Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon – PPGEP/UNIMEP

Presidente e Orientador



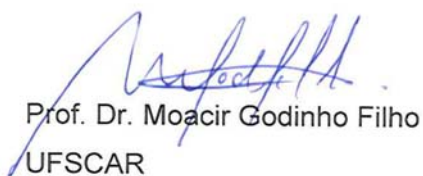
Prof. Dr. André Luis Helleno

PPGEP/UNIMEP



Prof. Dr. Fernando Celso de Campos

PPGEP/UNIMEP



Prof. Dr. Moacir Godinho Filho

UFSCAR



Prof. Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

FCA/UNICAMP

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter me suportado, dado forças e inspirado ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À Nadia, minha amada esposa, que me compreendeu e apoiou neste período de abnegação e dedicação. Obrigado por abraçar meus sonhos.

Aos meus queridos pais Pedro e Sonia, por toda a educação, caráter, amor e pelos ensinamentos de vida. Devo tudo isso a vocês.

Ao Prof. Dr. Alexandre Tadeu Simon, meu amigo e orientador, pelas importantíssimas recomendações e colaborações neste trabalho. Obrigado pelo apoio nos momentos mais difíceis e por toda a confiança e dedicação.

Aos Professores Dr. André Luis Helleno, Dr. Fernando Celso de Campos, Dr. Moacir Godinho Filho e Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio, membros da banca examinadora de qualificação e defesa, pelas contribuições e sugestões.

Aos professores e amigos do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Unimep, que me instruíram, incentivaram e inspiraram ao longo dessa jornada. Em especial, à Marta pelo apoio prestado de sempre.

À Universidade Metodista de Piracicaba, pela oportunidade oferecida e pela excelente equipe docente.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus amigos, Jeferson, Diógenes, Marcos, Marcelo, Valdelei, Alcindo, Azauri, Newton, Leandro, Julio, Reicher, Igor, André, Fernando, César, Edvar, Roberto, Alejandro e Christopher, pelo companheirismo, incentivo e palavras de apoio.

Aos familiares, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo entenderam que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Obrigado a todos que de alguma forma colaboraram. Sou grato por terem compartilhado seus conhecimentos e pelo tempo que me dedicaram.

*“Sorte é o que acontece quando a preparação encontra a oportunidade.”*

Sêneca

MATANA, Gleison M. **Indústria 4.0: proposta de um método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de sistemas físico-cibernéticos**. 2019. 225f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

## RESUMO

A Indústria 4.0 prevê benefícios como a redução dos custos de manufatura e aumento da eficiência operacional e é suportada por tecnologias como Sistemas Físico-cibernéticos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS), entre outras. Os CPS são uma das principais tecnologias da Indústria 4.0 e podem ser aplicados em diversas áreas da sociedade, incluindo saúde, mobilidade, produção e logística. A logística, área essencial para os resultados da empresa, apresenta elevado potencial para aplicação de equipamentos com tecnologias CPS, uma vez que sua implementação prevê significativa redução dos custos operacionais e tempos de produção. Diversos fabricantes já ofertam equipamentos de logística interna que integram tecnologias CPS, apresentando-os como totalmente aptos para operação na Indústria 4.0. Entretanto, observa-se que não existe um meio eficaz de avaliar se estes equipamentos efetivamente integram tais tecnologias e características e em que nível essa integração ocorre. Esta tese tem como objetivo propor um método de avaliação do grau de aderência dos equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0. O método é constituído de um roteiro de coleta de dados relativos às tecnologias embarcadas no equipamento de logística interna e uma ferramenta de processamento dessas informações que calcula seu grau de aderência ao conceito de CPS. O método se mostrou adequado em uma aplicação, pois permitiu avaliar o grau de aderência ao CPS de diversos equipamentos de logística interna disponíveis no mercado. Complementarmente, foi possível analisar a existência da relação entre o grau de aderência ao CPS e o respectivo desempenho operacional dos equipamentos previamente avaliados pelo método proposto. Adicionalmente, esta pesquisa contribui para o avanço da teoria sobre CPS aplicados à logística, pois identifica e sistematiza as tecnologias e características que suportam o conceito de CPS para a Indústria 4.0, assim como os equipamentos de logística interna passíveis de serem CPS. Ademais, define as tecnologias que um equipamento de logística interna deve possuir, e o nível de desenvolvimento de cada uma delas, para operar na Indústria 4.0.

**PALAVRAS-CHAVES:** Indústria 4.0, Sistemas Físico-cibernéticos, Logística Interna, Método de Avaliação.

MATANA, Gleison M. **Industry 4.0: propose of a method to assess the degree of adherence of internal logistics equipment to the concept of cyber-physical systems.** 2019. 225f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

## ABSTRACT

Industry 4.0 provides reduction of manufacturing costs and increase of operational efficiency, and is supported by technologies such as Physical-Cybernetic Systems (CPS), Internet of Things (IoT), Internet Services (IoS), among others. CPS is one of Industry 4.0's core technologies and can be applied in many areas of society, including health, mobility, production and logistics. Logistics, an essential area for the company's results, presents high potential for the application of equipment within CPS technologies. This application can achieve a significant reduction in logistics operating costs and manufacturing times. Several suppliers already offer internal logistics equipment that incorporates CPS technologies, presenting them as fully capable for operation in Industry 4.0. However, it is observed that there is no method to evaluate whether logistics equipment effectively integrate such technologies and characteristics and at what level this integration exists. Additionally, it is possible to observe a lack of knowledge of industry professionals to evaluate such equipment, due to the absence of methods to evaluate internal logistics equipment in relation to the CPS concept. This research aims to propose a method to assess the degree of adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for Industry 4.0. The method consists of a guide for collecting data regarding the embedded technologies in the internal logistics equipment and a tool for processing this information that calculates the degree of adherence to the concept of CPS. The method was applied and the evaluations of the degree of adherence to CPS concept of several internal logistics equipment available in the market are presented. In addition, it was possible to analyze the existence of the relationship between the degree of adherence to CPS and the respective operational performance of the equipment previously evaluated by the proposed method. Furthermore, this research contributes to the development of CPS theory applied to logistics, as it identifies and systematizes the technologies and characteristics that support the concept of CPS for Industry 4.0, as well as the internal logistics equipment that can be a CPS. In addition, this work defines the technologies that an internal logistics equipment must embed, and the level of development of each of technology, to operate in an Industry 4.0 environment.

**KEYWORDS:** Industry 4.0, Cyber-physical Systems, Internal Logistics, Assessment method



# SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| Lista De Figuras.....   | I   |
| Lista de Quadros .....  | III |
| Lista De Abreviaturas e Siglas.....                                       | IV  |
| 1 Introdução.....   | 1   |
| 1.1 Considerações Gerais.....   | 1   |
| 1.2 Justificativa da pesquisa .....                                       | 5   |
| 1.3 Objetivo do Trabalho.....   | 7   |
| 1.4 Delimitações do Trabalho .....  | 8   |
| 1.5 Estrutura do Trabalho .....   | 8   |
| 2 Revisão da Literatura.....  | 11  |
| 2.1 Indústria 4.0 .....   | 11  |
| 2.1.1 Considerações Iniciais.....   | 13  |
| 2.1.2 Conceito de Indústria 4.0.....                                      | 14  |
| 2.1.3 Tecnologias da indústria 4.0.....                                   | 16  |
| 2.2 Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS).....                               | 19  |
| 2.2.1 Conceito de CPS .....   | 20  |
| 2.2.2 Características e Tecnologias dos CPS .....                         | 25  |
| 2.2.2.1 Tecnologia de Fusão de Sensores (FS).....                         | 31  |
| 2.2.2.2 Tecnologia de Reconhecimento de Padrões (RP) .....                | 32  |
| 2.2.2.3 Tecnologia de Reconhecimento de Situações (RS).....               | 34  |
| 2.2.2.4 Tecnologia de Avaliação da Situação por Multi-critérios (MC)..... | 36  |
| 2.2.2.5 Tecnologia de Abordagem por Inteligência Artificial (IA).....     | 38  |
| 2.2.2.6 Tecnologia de Sistemas Multi-Agente (MA) .....                    | 40  |
| 2.2.2.7 Tecnologia de Interface Homem-Máquina (HM) .....                  | 43  |
| 2.2.2.8 Tecnologia de Reconhecimento de Plano e Intenção (RI) .....       | 45  |
| 2.2.2.9 Tecnologia de Modelamento Humano e do Usuário (MH) .....          | 47  |
| 2.2.2.10 Tecnologia de Aprendizado da Máquina (AP).....                   | 49  |
| 2.2.2.11 Tecnologia de Auto-Organização na Manufatura (OM).....           | 51  |
| 2.2.2.12 Tecnologia de Redes de Comunicação Auto-Organizáveis (CO) .....  | 53  |
| 2.2.2.13 Tecnologia Básica de Modelos de Domínio (MD) .....               | 55  |
| 2.2.2.14 Tecnologia Básica de Sensores e Atuadores (SA) .....             | 55  |
| 2.2.2.15 Tecnologia Básica de Plataformas de Comunicação (PC).....        | 57  |
| 2.2.2.16 Tecnologia Básica de Processadores Paralelos (PP).....           | 58  |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 2.2.2.17 | Tecnologia Básica de Controladores Distribuídos (CD)  | 59  |
| 2.2.3    | Aplicações dos CPS  | 60  |
| 2.3      | Logística   | 63  |
| 2.3.1    | Considerações Gerais  | 65  |
| 2.3.2    | Logística Interna   | 68  |
| 3        | Método de pesquisa  | 70  |
| 3.1      | Classificação da Pesquisa   | 70  |
| 3.2      | Abordagem Metodológica  | 71  |
| 3.2.1    | Procedimento de pesquisa  | 72  |
| 3.2.1.1  | Revisão sistemática da literatura   | 72  |
| 3.2.1.2  | <i>Design Science Research</i>  | 73  |
| 3.2.2    | Desenvolvimento da Pesquisa   | 77  |
| 4        | Método de Avaliação do grau de aderência de equipamentos de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 | 82  |
| 4.1      | Ciclo de Relevância   | 82  |
| 4.1.1    | Definição do problema de pesquisa   | 82  |
| 4.1.2    | Definição do escopo da pesquisa   | 85  |
| 4.1.3    | Definição dos requisitos do método de avaliação   | 88  |
| 4.1.4    | Definição dos critérios de aceitação método de avaliação  | 89  |
| 4.2      | Ciclo de Rigor  | 90  |
| 4.2.1    | Seleção dos conceitos sobre equipamentos de logística interna   | 91  |
| 4.2.2    | Seleção dos conceitos sobre tecnologias e características dos sistemas físico-cibernéticos                            | 91  |
| 4.3      | Ciclo de Projeto  | 94  |
| 4.3.1    | Etapa de Conscientização  | 94  |
| 4.3.1.1  | Definição das variáveis   | 94  |
| 4.3.1.2  | Definição da relação entre variáveis  | 96  |
| 4.3.2    | Etapa de Sugestão   | 98  |
| 4.3.2.1  | Definição das amplitudes das variáveis e escalas de medição   | 98  |
| 4.3.2.2  | Elaboração do roteiro de coleta dos dados de entrada  | 100 |
| 4.3.2.3  | Seleção da ferramenta de processamento das informações  | 100 |
| 4.3.2.4  | Análise pelos profissionais da indústria e academia   | 103 |
| 4.3.3    | Etapa de Desenvolvimento  | 109 |
| 4.3.3.1  | Definição do modelo matemático  | 109 |
| 4.3.4    | Etapa de Avaliação  | 115 |
| 4.3.4.1  | Codificação Computacional do Modelo Matemático  | 115 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 4.3.4.2 | Experimentação do Código Computacional .....   | 116 |
| 4.3.5   | Etapa de Finalização .....   | 119 |
| 5       | Aplicações do Método de Avaliação e Simulação .....                                      | 122 |
| 5.1     | Aplicação do Método de Avaliação .....   | 122 |
| 5.1.1   | Planejamento.....  | 122 |
| 5.1.2   | Execução.....  | 125 |
| 5.1.3   | Discussão da aplicação do método de avaliação.....                                       | 131 |
| 5.2     | Simulação .....  | 133 |
| 5.2.1   | Planejamento.....  | 135 |
| 5.2.2   | Execução.....  | 142 |
| 5.2.3   | Verificação da relação entre aderência ao conceito de CPS e desempenho operacional ..... | 148 |
| 6       | Conclusões .....   | 153 |
| 6.1     | Trabalhos futuros .....  | 155 |
|         | Referências Bibliográficas .....   | 157 |
|         | Apêndice.....  | 181 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 - Estrutura do Trabalho.....   | 10  |
| Figura 2 – Tempo para adaptação dos processos em uma indústria atual.....                             | 12  |
| Figura 3 – Tempo de adaptação dos processos em uma Indústria 4.0.....                                 | 12  |
| Figura 4 – Revoluções Industriais .....   | 13  |
| Figura 5 – Benefícios da Indústria 4.0 .....  | 15  |
| Figura 6 – Estrutura física e cibernética de um CPS.....  | 22  |
| Figura 7 - Elementos dos sistemas físico-cibernéticos.....  | 23  |
| Figura 8 – Evolução da inferência dos sensores.....   | 32  |
| Figura 9 – Níveis de classificação de reconhecimento de situações .....                               | 35  |
| Figura 10 – Avaliação da situação.....  | 37  |
| Figura 11 – Sistema multi-agente interagindo mutuamente .....   | 41  |
| Figura 12 – Níveis de uma interação entre homem e máquina.....  | 44  |
| Figura 13 – Níveis da tecnologia de modelamento humano .....  | 48  |
| Figura 14 – Sensores e atuadores em um CPS .....  | 56  |
| Figura 15 – Mapa de possíveis aplicações dos CPS .....  | 60  |
| Figura 16 - Áreas de aplicações dos CPS e suas interconexões.....                                     | 62  |
| Figura 17 – Áreas da logística.....   | 67  |
| Figura 18 – Desdobramento da função logística .....   | 67  |
| Figura 19 – Etapas da abordagem metodológica.....   | 71  |
| Figura 20 – Etapas de uma efetiva revisão sistemática da literatura .....                             | 72  |
| Figura 21 – Interação ente os ciclos do <i>design science research</i> .....                          | 75  |
| Figura 22 – Etapas de uma <i>design science research</i> .....  | 76  |
| Figura 23 – Passos do desenvolvimento da pesquisa .....   | 78  |
| Figura 24 – Revisão da literatura sobre avaliação de equipamentos em relação ao conceito de CPS.....  | 83  |
| Figura 25 – Revisão da literatura sobre equipamentos de logística interna passíveis de automação..... | 86  |
| Figura 26 – Requisitos e critérios do método de avaliação .....                                       | 90  |
| Figura 27 – Revisão da literatura sobre conceito de CPS.....  | 92  |
| Figura 28 – Rede de cocitação das publicações sobre conceito de CPS .....                             | 93  |
| Figura 29 – Influência das características CPS por suas tecnologias.....                              | 97  |
| Figura 30 – Influência de um CPS para Indústria 4.0 por suas características.....                     | 98  |
| Figura 31 – Relação combinacional das variáveis e suas escalas.....                                   | 100 |
| Figura 32 – Neurônio artificial.....  | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 33 – Arquiteturas das RNA.....  | 102 |
| Figura 34 – RNA de arquitetura MLP como ferramenta combinacional de processamento das informações .....  | 103 |
| Figura 35 – Função de ativação tangente hiperbólica.....   | 110 |
| Figura 36 – Modelo matemático .....  | 112 |
| Figura 37 – Propriedades da MLP no Matlab .....  | 115 |
| Figura 38 – Código computacional do modelo matemático.....   | 116 |
| Figura 39 – Erro da MLP ao longo das iterações de aprendizado .....  | 116 |
| Figura 40 – Ferramenta de processamento das informações .....  | 119 |
| Figura 41 – Passos do método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0..... | 120 |
| Figura 42 – Relatório de avaliação da empilhadeira do fabricante A .....   | 126 |
| Figura 43 – Relatório de avaliação da empilhadeira do fabricante B .....   | 126 |
| Figura 44 – Relatório de avaliação da empilhadeira do fabricante C .....   | 126 |
| Figura 45 – Relatório de avaliação do AGV do fabricante D .....  | 127 |
| Figura 46 – Relatório de avaliação do AGV do fabricante E .....  | 127 |
| Figura 47 – Relatório de avaliação do AGV do fabricante F .....  | 127 |
| Figura 48 – Relatório de avaliação do AS/RS do fabricante G.....   | 128 |
| Figura 49 – Relatório de avaliação do AS/RS do fabricante H.....   | 128 |
| Figura 50 – Relatório de avaliação do AS/RS do fabricante I .....  | 128 |
| Figura 51 – Relatório de avaliação do transportador do fabricante J .....  | 129 |
| Figura 52 – Relatório de avaliação do transportador do fabricante K .....  | 129 |
| Figura 53 – Relatório de avaliação do transportador do fabricante L.....   | 129 |
| Figura 54 – Relatório de avaliação do robô do fabricante M .....   | 130 |
| Figura 55 – Relatório de avaliação do robô do fabricante N .....   | 130 |
| Figura 56 – Relatório de avaliação do robô do fabricante O .....   | 130 |
| Figura 57 - Passos de uma simulação .....  | 134 |
| Figura 58 – Distribuição referente ao intervalo da chegada dos caminhões.....  | 137 |
| Figura 59 – Distribuição referente à quantidade de lotes por caminhão .....  | 137 |
| Figura 60 – VSM do processo logístico selecionado para simulação .....   | 139 |
| Figura 61 – Modelo de processo logístico selecionado para simulação .....  | 140 |
| Figura 62 – Operação do AS/RS em conjunto com robô de coleta.....  | 145 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1 – Competências dos CPS por característica .....  | 28  |
| Quadro 2 – Níveis de abstrações da reconhecimento de padrões.....                               | 33  |
| Quadro 3 – Tipos de artefatos .....   | 74  |
| Quadro 4 – Equipamentos de logística interna passíveis de automação.....                        | 87  |
| Quadro 5 – Matriz de amostras para treinamento da MLP.....                                      | 114 |
| Quadro 6 – Matriz de pesos ( $W_e$ ) e vetor de <i>bias</i> ( $B_e$ ) da camada escondida ..... | 117 |
| Quadro 7 – Matriz de pesos ( $W_s$ ) e vetor de <i>bias</i> ( $B_s$ ) da camada de saída .....  | 118 |
| Quadro 8 – Equipamentos logísticos para aplicação do método de avaliação .....                  | 123 |
| Quadro 9 – Resumo dos resultados da aplicação do método de avaliação.....                       | 131 |
| Quadro 10 – Resultados da simulação – equipamentos existentes.....                              | 142 |
| Quadro 11 – Resultados da simulação – substituição do AS/RS.....                                | 144 |
| Quadro 12 – Resultados da simulação – substituição do AS/RS e Robô .....                        | 148 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AC – Característica CPS de Adaptação ao Contexto em operação total/semi-autônoma
- AGV – *Automated Guided Vehicle*
- AP – Tecnologia CPS de Aprendizado da máquina
- AS/RS – *Automated Storage and Retrieval System*
- CD – Tecnologia CPS básica de Controladores Distribuídos
- CHS – Característica CPS de Cooperação extensiva Homem-Sistema
- CO – Tecnologia CPS de rede de Comunicação auto-Organizável
- CPLS – *Cyber-physical Logistics Systems*
- CPPS – *Cyber-physical Production Systems*
- CPS – *Cyber-physical Systems*
- DSS – *Decision Support Systems*
- FS – Tecnologia CPS de Fusão de Sensores
- HM – Tecnologia CPS de interface Homem-Máquina
- IA – Tecnologia CPS de abordagem por Inteligência artificial
- IoD – *Internet of Data*
- IoS – *Internet of Services*
- IoT – *Internet of Things*
- LAN – *Local Area Network*
- MA – Tecnologia CPS de sistema Multi-Agente
- MC – Tecnologia CPS de avaliação da situação por Multi-Critérios
- MD – Tecnologia básica CPS de Modelo de Domínio
- MFV – Característica CPS de Mescla dos mundos Físico e Virtual
- MH – Tecnologia CPS de Modelamento Humano e do usuário
- MLP – *Multi-layer Perceptron*
- OM – Tecnologia CPS de auto-Organização na Manufatura
- PAN – *Personal Area Network*
- PC – Tecnologia básica CPS de Plataforma de Comunicação
- PP – Tecnologia básica CPS de Processadores Paralelos
- RI – Tecnologia CPS de Reconhecimento de plano e Intenção
- RMS – *Reconfigurable Manufacturing Systems*
- RNA – Rede neural artificial
- RP – Tecnologia CPS de Reconhecimento de Padrões
- RS – Tecnologia CPS de Reconhecimento de Situações
- SA – Tecnologia básica CPS de Sensores e Atuadores

SC – Característica CPS de Sistemas Cooperativos com controle distribuído

SED – Simulação por eventos discretos

SoS – Característica CPS de Sistemas de Sistemas com adaptação dinâmica dos limites

VSM – *Value Stream Mapping*

WAN – *Wide Area Network*

WMS – *Warehouse Management System*

WSAN – *Wireless Sensor and Actuator Network*



## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo inicial contextualiza o trabalho apresentando a Indústria 4.0 como uma estratégia para o mercado competitivo atual e os benefícios esperados diante de sua aplicação em um dos principais processos da empresa, a logística. Destaca ainda, a importância da implementação dos Sistemas Físicos-cibernéticos como um dos principais elementos da Indústria 4.0. Apresenta, também, a lacuna na literatura, a justificativa deste trabalho, seu objetivo, as delimitações e sua estrutura.

### 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A competição em um mercado global tem obrigado as empresas a atender as demandas dos clientes com maior qualidade a preço e prazo menores, o que impõe a necessidade de constante evolução dos sistemas de produção (DREHER, GASSEBNER e SIEMERS, 2012). Mercados voláteis, novos concorrentes globais, decisões mais rápidas sobre negócios, necessidade de produtos individualizados e sistemas de manufaturas complexos são alguns dos desafios empresariais e requerem das indústrias soluções tecnológicas para níveis de produtividade cada vez mais altos (SPATH *et al.*, 2013; FATORACHIAN e KAZEMI, 2018). Desta forma, as empresas têm buscado novas tecnologias para melhorar seus sistemas de manufatura (FULLERTON, KENNEDY e WIDENER, 2014; RAJNAI e KOCSIS, 2018).

Com o desenvolvimento da tecnologia de informação e comunicação surge uma nova revolução industrial (MAIER, KORBEL e BREM, 2014) e deve habilitar ganhos contínuos de produtividade e eficiência ao longo de toda cadeia de valor (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013; SCHUH *et al.*, 2014). Essa revolução industrial passa a ser conhecida como Indústria 4.0 e propõe um avanço na organização e controle de toda a cadeia de valor industrial ao longo do ciclo de vida de seus produtos (DORST, 2016). A Indústria 4.0 é uma iniciativa

estratégica do governo alemão com o objetivo de assegurar uma vantajosa posição competitiva pela inovação tecnológica (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013) e parece ser o caminho para o sucesso das empresas no mercado atual. Segundo pesquisas, a aplicação da Indústria 4.0 nas empresas pode reduzir os custos de manufatura (PWC, 2014), aumentar a eficiência operacional (BCG, 2015), diminuir os custos do inventário e reduzir os custos de manutenção (MCKINSEY, 2016).

Para se operar como uma Indústria 4.0 é necessário implementar novas tecnologias nas máquinas e sistemas de produção (LEE, BAGHERI e KAO, 2015). Porém, mesmo se tratando de um conceito emergente, diversos autores afirmam que muitas dessas tecnologias para implementação da Indústria 4.0 já existem, sendo que outras ainda deverão ser desenvolvidas.

Bauer *et al.* (2014) estimam que a plena visão da Indústria 4.0 será alcançada até 2025 com o avanço de suas tecnologias. Dorst (2016) apresenta que a total implementação da Indústria 4.0 ocorrerá até 2030 após pesquisas avançadas em tecnologia. Em uma perspectiva mais imediata, Anderl *et al.* (2015) afirmam que os benefícios da implementação da Indústria 4.0 podem ser obtidos a partir da combinação de tecnologias já existentes. Corroborando, Wang *et al.* (2016) explicam que, com as tecnologias existentes, aplicações da Indústria 4.0 estão disponíveis para serem implementadas. A Associação Alemã de Fabricantes de Máquinas e Equipamentos (*Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau - VDMA*) apresenta alguns exemplos de tecnologias disponíveis para aplicação na Indústria 4.0, demonstrando que sua implementação está em um estágio avançado (VDMA, 2016). Por sua vez, Xu, Xu e Li (2018) apresentam que há tecnologias disponíveis para serem utilizadas na implementação da Indústria 4.0, porém ainda necessitam de desenvolvimento para operarem em conjunto.

A Indústria 4.0 é suportada por tecnologias como Sistemas Físico-cibernéticos (*Cyber-Physical Systems – CPS*), Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*) (SHAFIQ *et al.*, 2015; OZTEMEL e GURSEV, 2018), Internet dos Serviços (*Internet of Services – IoS*) (ANDERL *et al.*, 2015; HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016; ROBLEK, MESKO e KRAPEZ, 2016), entre

outras. Um dos elementos principais para a operação da Indústria 4.0 são os CPS (SCHLECHTENDAHL *et al.*, 2014; WAN, CAI e ZHOU, 2015; MOSTERMAN e ZANDER, 2016). Para Kagermann (2014) os CPS são a tecnologia habilitadora da Indústria 4.0. Implementar os CPS nas indústrias alemãs e explorar comercialmente produtos CPS exportados para o mundo fundamentam a estratégia da Indústria 4.0 (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013). Lu (2017), em sua revisão da literatura, explica que os CPS são a base da Indústria 4.0.

Os CPS são formados a partir da integração dos processos físicos com os processos computacionais, em que computadores embarcados e redes de comunicação monitoram (do físico para o cibernético) e controlam (do cibernético para o físico) os processos físicos, em que tanto os elementos físicos quanto os computacionais interagem mutuamente (LEE, 2010). Esses sistemas são entendidos como a evolução dos sistemas cibernéticos embarcados com os avanços da tecnologia de informação e comunicação (GUNES *et al.*, 2014), em que unem as propriedades computacionais e de comunicação aplicando-as sobre processos físicos com o propósito de monitoramento e controle compartilhado com outros sistemas (GEISBERGER e BROY, 2014).

Os CPS possuem características de mesclar o mundo físico e virtual, operar como um sistema que é parte de um sistema mais amplo, adaptar-se ao contexto da operação, agir coordenadamente com controles distribuídos e permitir cooperação entre homem-sistema (GEISBERGER e BROY, 2014). Devido a estas características, os CPS possuem aplicações nas mais diversas áreas da sociedade, como em sistemas industriais, automotivos, ambientais, aviônicos, de defesa, de saúde e de infraestrutura (SANISLAV e MICLEA, 2012), em controle de energia e comunicação (ASARE *et al.*, 2015), e também promovem uma sociedade cibernética inteligente (*Smart Cyber Society*) (AHMAD *et al.*, 2016). Uma das principais aplicações dos CPS são os processos de manufatura compreendidos pelas áreas de produção e logística (LEE, 2008; TÖRNGREN *et al.*, 2014; GEISBERGER e BROY, 2014; GUNES *et al.*, 2014; BAGHERI *et al.*, 2015; BÁNYAI *et al.*, 2019).

A logística é uma área essencial para os resultados da empresa (STOCK e LAMBERT, 1992; OLAVARRIETA e ELLINGER, 1997; BOWERSOX, CLOSS e COOPER, 2006), seus processos possuem alta complexidade de execução (DAUGHERTY, 2011; CHRISTOPHER, 2011) e podem afetar diretamente a produtividade da operação e a competitividade da empresa (VIEIRA *et al.*, 2011; DAI e LEE, 2012; CHAVEZ *et al.*, 2015). A logística é organizada em dois canais: suprimento físico (*inbound*) e distribuição física (*outbound*), sendo a abrangência do primeiro desde a fonte de materiais até os pontos de processamento e do segundo desde os pontos de processamento até os clientes (BALLOU, 2006; BOWERSOX, CLOSS e COOPER, 2006). O suprimento físico é vital para as operações de qualquer indústria (GRANLUND e WIKTORSSON, 2014) e corresponde em média a 2,5% da receita líquida da empresa (ILOS, 2016).

A logística interna, responsável por todo fluxo estruturado de materiais no interior da empresa (JONSSON, 2008; KARANDE e CHAKRABORTY, 2013), é de fundamental importância para o funcionamento das indústrias (BEAMON, 1998; SCHULZE e WULLNER, 2006; STEPHENS e MEYERS, 2013) e tem significativa contribuição no custo operacional, podendo compreender 25% da quantidade de empregados da empresa, 55% do espaço da fábrica e representar entre 15% a 70% do custo total de manufatura de um produto (TOMPKINS *et al.*, 2010).

A partir dessas considerações, entende-se que a implementação dos CPS nos processos de logística interna para suportar a estratégia da Indústria 4.0 é de essencial importância (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013; SEITZ e NYHUIS, 2015; HERMANN, PENTEK e OTTO, 2016; SCHMIDTKE *et al.*, 2018), não somente para os resultados da empresa, mas também para a continuidade de sua existência no mercado competitivo da quarta revolução industrial (DORST, 2016).

Essa aplicação é conhecida como Sistemas Logísticos Físico-cibernéticos (*Cyber-physical Logistics Systems – CPLS*) e podem resultar em aumento da flexibilidade, robustez e produtividade com um melhor gerenciamento da complexidade desses sistemas (PRASSE, NETTSTRAETER e HOMPEL, 2014; STRANDHAGEN *et al.*, 2016). A integração dos CPS na logística interna fomenta

a transformação das fábricas atuais para uma Indústria 4.0 (JAZDI, 2014; BAGHERI *et al.*, 2015; SHAFIQ *et al.*, 2015) e é denominada de Logística 4.0 (HOMPEL e HENKE, 2014; TIMM e LORIG, 2015; HENKE e HEGMANNNS, 2016; WEHBERG, 2016).

Com a implementação dos CPS nos processos de logística interna são previstos benefícios como reduções dos custos operacionais dos processos logísticos e dos tempos de ciclo de produção (BCG, 2015). Por isso, muitas empresas investem parte da receita anual no desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias para a implementação da Indústria 4.0 (PWC, 2016).

## 1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Apesar da importância da implementação dos CPS nos processos de logística interna das empresas e dos seus respectivos benefícios previstos, são escassos os trabalhos que mencionam, mesmo que apenas parcialmente, a aplicação das tecnologias dos CPS em suas atividades.

Hompel e Henke (2014) apresentam uma visão da logística baseada em CPS e recomendam a necessidade de repensar os conceitos básicos de logística para a implementação da Indústria 4.0, pois há a necessidade de adaptações para acomodar essas tecnologias. Wang, Wang e Anderl (2016) propõem um modelo genérico centrado em CPS para introduzir as tecnologias da Indústria 4.0 nas operações de empresas de pequeno e médio porte, que é estendido para os processos logísticos sem explicações detalhadas ou adaptações específicas para suas atividades. Wang *et al.* (2016) apresentam uma arquitetura genérica apoiada em CPS de uma fábrica inteligente explorando seus mecanismos operacionais, sendo a logística somente um destes mecanismos, sem as análises das particularidades de seus processos. Pei *et al.* (2019) apresentam uma ferramenta de avaliação generalizada dos processos de logística interna para identificar nas empresas as atividades que mais se beneficiam com a possível aplicação dos CPS.

Além disso, muitos pesquisadores apresentam grandes desafios para o pleno funcionamento dos CPS nos ambientes de Indústria 4.0. Esterle e Grosu (2016) explicam que ainda há desafios a serem resolvidos na matemática computacional, na arquitetura, na incerteza dos dados, na segurança da rede de comunicação e na privacidade das informações. Para Leitão, Colombo e Karnouskos (2015), as dificuldades para operação dos CPS residem na operação em tempo real, gerenciamento dos sistemas de sistemas, na simulação da operação virtual, na interação com sistemas heterogêneos, na infraestrutura ubíqua, na colaboração entre os CPS e na inteligência artificial. Já para Gomma (2018), os principais desafios para o funcionamento dos CPS são a necessidade de supercomputadores para o cálculo dos algoritmos de operação, de sistemas de comunicação com alta capacidade de transmissão e recebimento de informações e de grandes dispositivos de armazenamento dos dados computacionais.

Porém, mesmo com os desafios para a plena operação dos CPS na Indústria 4.0 e escassez de pesquisas de sua aplicação na área de logística, muitos fabricantes de equipamentos logísticos apresentam seus produtos como totalmente aptos para operar no ambiente da quarta revolução industrial.

Seshia *et al.* (2017) explicam que devido aos CPS serem um conceito relativamente novo na sociedade, muitos profissionais da indústria e academia podem ainda não ter conhecimento suficiente para avaliar as tecnologias e características dos equipamentos ofertados no mercado atual. Isso pode levar esses profissionais a adquirir um equipamento inadequado para sua necessidade, acreditando simplesmente nas informações e promessas dos fabricantes.

Ao explorar a literatura específica verifica-se também que não existe um meio eficaz de avaliar se os equipamentos de logística interna efetivamente integram, e em que nível, as tecnologias e características que conceituam um CPS para operar na Indústria 4.0.

A partir dessas considerações estabelece-se a questão de pesquisa desta tese: como avaliar a aderência dos equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0?

### 1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo geral propor um método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para Indústria 4.0. Para tanto, o método de avaliação deve calcular o grau de aderência ao conceito de CPS dos equipamentos de logística interna a partir das informações de suas tecnologias embarcadas.

Esta pesquisa tem ainda como objetivos específicos:

- Selecionar um conceito de CPS na literatura e identificar tecnologias e características inerentes;
- Identificar os equipamentos de logística interna passíveis de ser um CPS;
- Criar um roteiro para coleta de dados sobre as tecnologias dos CPS nos equipamentos de logística interna;
- Selecionar uma ferramenta de processamento das informações que permita relacionar as tecnologias com as características e o conceito dos CPS;
- Adaptar essa ferramenta para calcular o grau de aderência do equipamento de logística interna às características e ao conceito de CPS a partir das informações das tecnologias.

Para se alcançar os dois primeiros objetivos específicos, serão executadas revisões sistemáticas da literatura sobre CPS e equipamentos de logística interna.

Já a obtenção dos demais três objetivos específicos será suportada pelo *design science research*. Esse procedimento de pesquisa apresenta as etapas de rigor científico para a criação do roteiro de coleta de dados e a seleção e adaptação da ferramenta de processamento das informações, apresentando as devidas justificativas e linha de raciocínio.

Ainda, será realizada uma aplicação do método em um grupo de equipamentos de logística interna de fabricantes multinacionais com o propósito de demonstrar a aplicabilidade do método de avaliação proposto. A partir disso, o trabalho será complementado por uma simulação dos equipamentos avaliados

em um processo logístico típico para verificação da relação entre aderência ao conceito de CPS e desempenho operacional.

#### **1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

O escopo desta tese é delimitado aos processos de logística interna. A logística interna, apesar de interagir com as demais divisões das empresas, é uma área única que apresenta benefícios específicos nas operações industriais, por isso, pode e vem sendo analisada individualmente por muitos pesquisadores.

Como os CPS e suas respectivas tecnologias estão em contínua evolução, este trabalho não pretende ser uma ferramenta de avaliação rígida e definitiva, podendo ser necessário ajustes futuros com o desenvolvimento de novos conhecimentos nessa área.

#### **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos, apresentados na Figura 1, incluindo este capítulo introdutório que contextualiza o tema pelas considerações gerais, explica a importância e justificativa do trabalho, destaca o objetivo geral e delimita o estudo.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão narrativa da literatura sobre Indústria 4.0, CPS e Logística Interna. Neste capítulo, apresenta-se ainda os resultados de uma revisão sistemática para demonstrar a lacuna na literatura que fundamenta este trabalho.

O Capítulo 3 apresenta a abordagem metodológica utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, detalhando seus passos.

No Capítulo 4 apresenta-se a concepção do método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.



O Capítulo 5 apresenta a aplicação do método de avaliação desenvolvido em uma amostragem intencional de fabricantes de equipamentos logísticos. Complementarmente, este capítulo também apresenta a simulação dos equipamentos avaliados em um processo logístico típico para análise do desempenho operacional e da sua possível relação com a aderência ao conceito de CPS.

O Capítulo 6 apresenta as principais conclusões do trabalho e sugestões para futuras pesquisas.

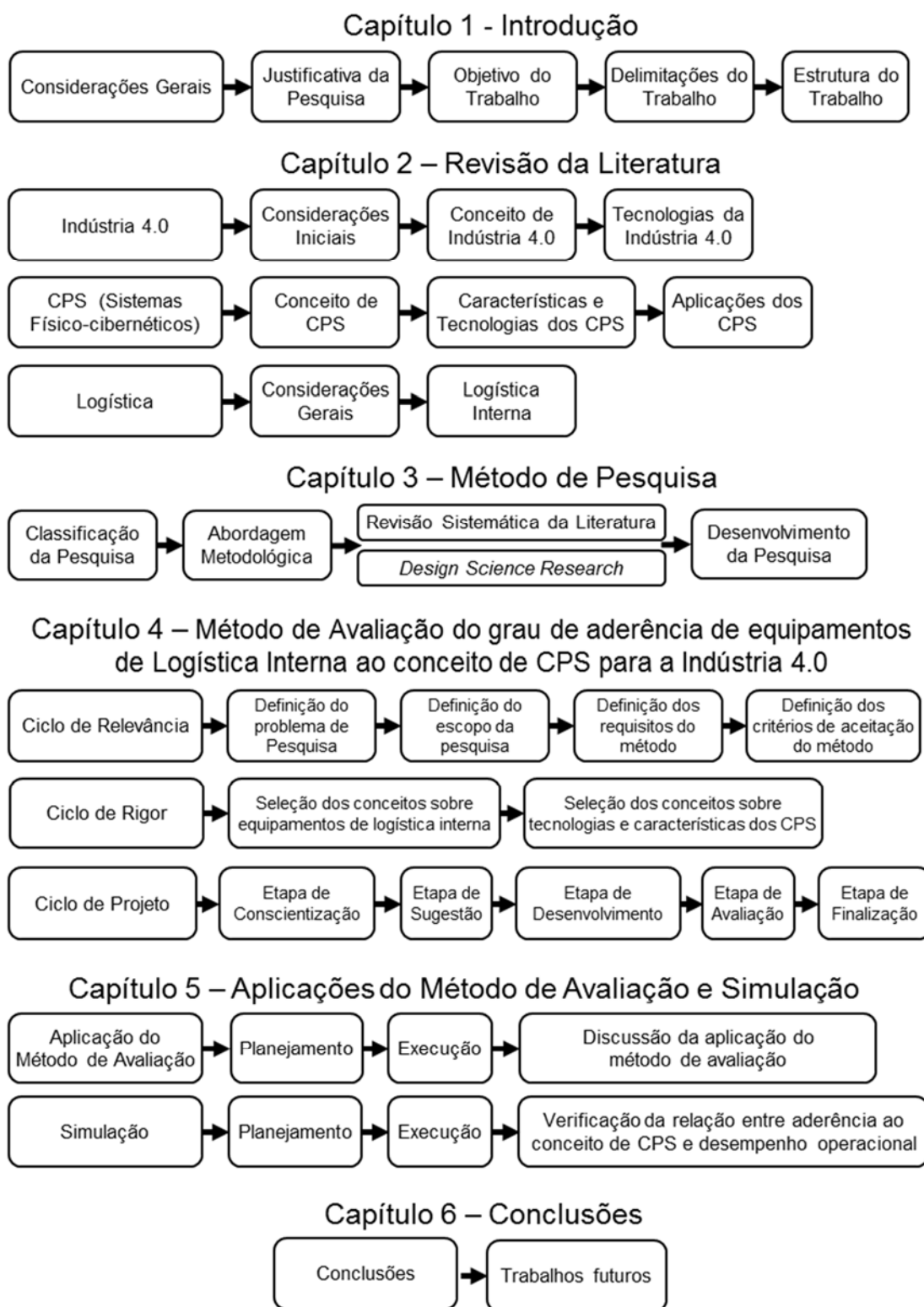


Figura 1 - Estrutura do Trabalho

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão da literatura com as definições, conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, dos CPS e da logística, em especial da logística interna.

Inicialmente, é apresentado o conceito de Indústria 4.0, como a quarta revolução industrial, seguido da explicação detalhada de um de seus principais elementos, os CPS. Adicionalmente, é explanado sobre a logística, destacando a importância da logística interna nas operações industriais. Por fim, uma revisão sistemática verifica a lacuna da literatura sobre avaliação de equipamentos logísticos em relação ao conceito de CPS.

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

O ambiente dinâmico e complexo das empresas em um mercado global com determinações individuais dos clientes, cada vez mais exigentes, impõem decisões mais assertivas e rápidas às indústrias, se essas quiserem permanecer competitivas a longo prazo. Nas empresas, atualmente, os produtos e operações são especificados e executados sem compreender totalmente a necessidade dos clientes, pois não é possível fazer grandes modificações nos processos de manufatura durante a execução da produção. Nesse cenário, é imprescindível que as indústrias desenvolvam a agilidade de implementar mudanças nos processos operacionais, em tempo real, incluindo alterações fundamentais no modelo de negócio da empresa (SCHUH *et al.*, 2017). A Figura 2 apresenta o tempo necessário para a adaptação dos processos produtivos nas empresas atualmente.

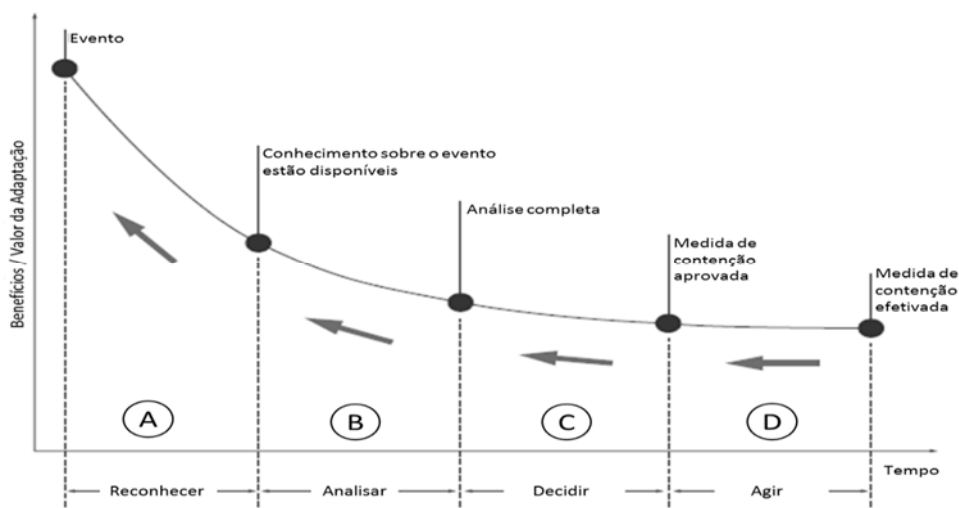


Figura 2 – Tempo para adaptação dos processos em uma indústria atual  
(traduzido de Schuh *et al.*, 2017)

Com a habilidade potencial de endereçar esta agilidade necessária nas operações, a Indústria 4.0 promete revolucionar economicamente as empresas, acelerando os processos de tomada de decisão corporativos e adaptando rapidamente os processos produtivos a essas decisões. Com isso, as mudanças de especificação solicitadas por um cliente podem ser incorporadas durante o processo de manufatura de um produto, pois a empresa tem a agilidade necessária para se adaptar à nova exigência de um bem personalizado que atende exatamente o consumidor no tempo e qualidade determinada (SCHUH *et al.*, 2017). A Figura 3 ilustra a agilidade na adaptação da organização com a implementação da Indústria 4.0, quando comparada a empresas atuais.

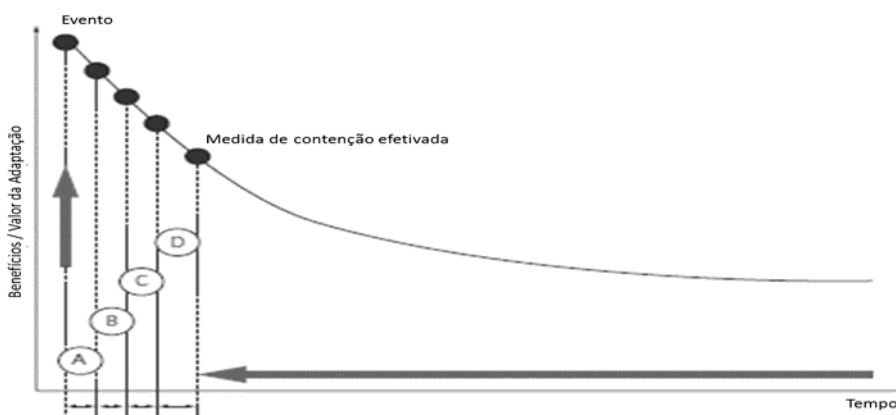


Figura 3 – Tempo de adaptação dos processos em uma Indústria 4.0  
(traduzido de Schuh *et al.*, 2017)

### 2.1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O termo Indústria 4.0 vem sendo utilizado para descrever a ampla integração da tecnologia de informação e comunicação nos sistemas de manufatura industrial. Introduzido em 2011 pelo grupo de comunicação do *Industry-Science Research Alliance*, como uma iniciativa estratégica do governo alemão denominada *Industrie 4.0*, o conceito de Indústria 4.0 faz referência ao potencial inovador que segue as três primeiras revoluções industriais (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

A primeira revolução industrial foi denominada Mecanização, como resultado da introdução das máquinas a vapor nas operações industriais. A segunda revolução industrial, nomeada de Produção em Massa, foi marcada pelo uso da eletricidade no processo manufatureiro de grandes lotes de produtos padronizados. A terceira revolução industrial foi chamada de Digitalização e conhecida pela aplicação dos computadores (automação) e tecnologia da informação em todas as atividades da manufatura. Assim, a Indústria 4.0 é uma expressão que referencia a quarta revolução industrial (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013). A Figura 4 ilustra as evoluções da indústria ao longo dos anos, incluindo a proposta quarta revolução.

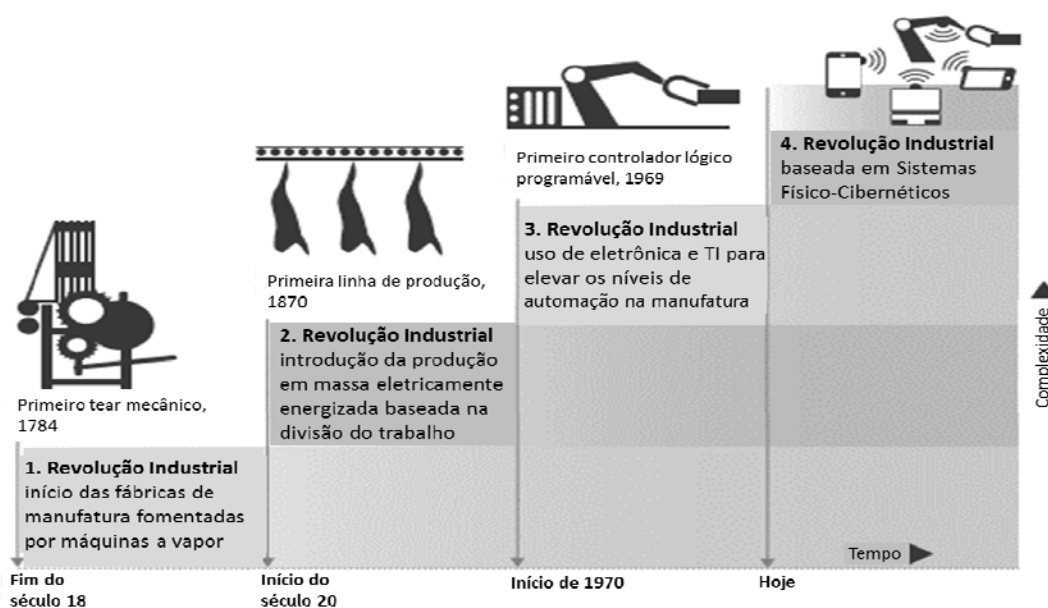


Figura 4 – Revoluções Industriais

(traduzido de Kagermann, Wahlster e Helbig, 2013)

A concepção de Indústria 4.0 não é desenvolvida de forma isolada somente pela pioneira Alemanha (ACATECH, 2017). Muitos países trabalham no aperfeiçoamento de um conceito similar ao *Industrie 4.0* (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013). Os Estados Unidos da América iniciaram em 2011 o *Advanced Manufacturing Partnership 2.0* (MIT, 2014), com projetos como o *Industrial Internet* (IICONSORTIUM, 2017) e estudos sobre os CPS (NSF, 2017). A China executa pesquisas no programa *High-End Equipment Manufacturing New-Generation Information Technology*, em que desde 2011 investe no projeto *Internet Plus* (KEQIANG, 2015). A Comunidade Européia trabalha desde 2007 com o programa *Seventh Framework Programme for Research* no projeto *Factories of the Future* (EU, 2017). A Índia investe desde 2012 em pesquisas de inovação no programa *Cyber-Physical Systems Innovation Hub* (CPSIIT, 2012). O Japão trabalha no projeto *Monodzukuri* para conectar suas fábricas de forma segura e inteligente (METI, 2015). No Brasil, o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços lançou em 2017 o programa Rota 2030, que deve fazer recomendações nas áreas de mobilidade e logística para reforçar o futuro da cadeia de valor das indústrias (MDIC, 2017).

### **2.1.2 CONCEITO DE INDÚSTRIA 4.0**

A Indústria 4.0 tem a visão de criar uma rede de valor horizontalmente integrada com outras empresas e processos, integrar desde a engenharia aos processos do negócio de ponta-a-ponta ao longo da cadeia de valor e operar em rede integrada verticalmente com os sistemas e atividades industriais. As redes de valor horizontalmente integradas englobam os diferentes processos das operações e do negócio, dentro e fora da empresa, com o objetivo avaliar a cadeia de valor como um todo. A integração da engenharia nos processos da cadeia de valor de ponta-a-ponta tem a finalidade de incorporar os requisitos e necessidades do cliente em qualquer momento do ciclo de vida do produto. A integração vertical dos sistemas e atividades industriais como uma rede autônoma de processos empresariais propõem a solução das metas operacionais com uma visão holística do negócio (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

Os benefícios da Indústria 4.0 para as empresas são promissores. Schuh *et al.* (2014) apresentam que o ganho de competitividade da corporação, devido ao aumento significativo da produtividade e a redução do custo operacional por peça produzida, é um dos principais resultados da Indústria 4.0. A Figura 5 ilustra a redução do custo por peça e o aumento de produtividade da Indústria 4.0 comparada à indústria atual.

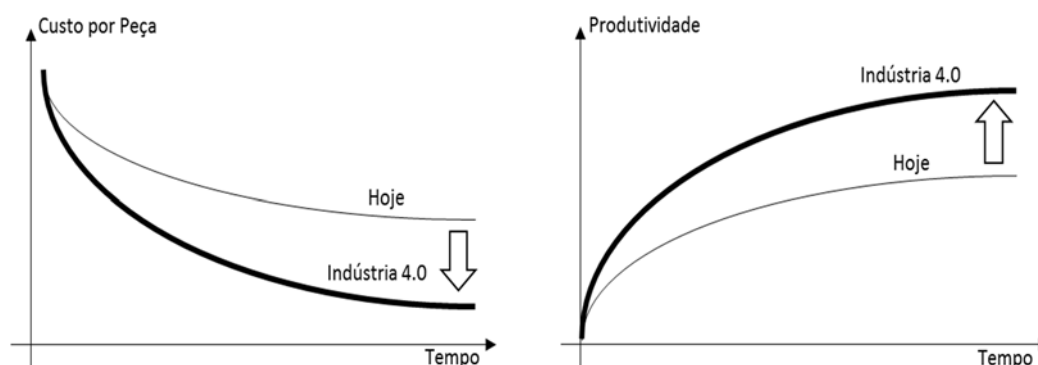


Figura 5 – Benefícios da Indústria 4.0

(traduzido de Schuh *et al.*, 2014)

A empresa de consultoria PwC (2014) prevê que a introdução da Indústria 4.0 pode reduzir os custos de manufatura e aumentar a receita até 2020. Por isso, muitas empresas investem aproximadamente 5% da receita anual em seu desenvolvimento e implementação (PWC, 2016). A consultora empresarial BCG (2015) propõe que a implementação da Indústria 4.0 deve aumentar a eficiência operacional da manufatura. Por sua vez, o grupo de consultoria empresarial McKinsey (2016) explica que a Indústria 4.0 deve diminuir os custos do inventário devido ao aumento da acurácia na previsão da demanda, além de reduzir os custos com manutenção dos equipamentos operacionais.

Muitos pesquisadores da Indústria 4.0 somente descrevem a visão e os benefícios esperados com sua implementação, porém não apresentam uma definição clara do seu conceito (HERMANN, PENTTEK e OTTO, 2016).

Para Brettel *et al.* (2014), a Indústria 4.0 é uma revolução industrial iniciada com a internet, que interconecta os seres humanos e as máquinas por meio das redes de comunicação dos CPS.

Shafiq *et al.* (2015) entendem a Indústria 4.0 como um conceito que promove a computação para as fábricas de manufatura tradicionais e seus subsistemas para conectar e disponibilizar recursos operacionais a qualquer momento com a finalidade de criar as fábricas inteligentes. Essas, são caracterizadas pela adaptabilidade, eficiência dos recursos e ergonomia da operação, assim como a integração dos clientes e parceiros de negócio na cadeia de valor.

Hermann, Pentek e Otto (2016, p. 11) apresentam a Indústria 4.0 como:

“um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor. Com a estrutura modular das Fábricas Inteligentes da Indústria 4.0, os CPS monitoram os processos físicos, criam uma cópia virtual do mundo físico e tomam decisões descentralizadas. Com a IoT, os CPS comunicam e cooperam uns com os outros e com os humanos em tempo real. Via IoS, os serviços internos e entre organizações são oferecidos e utilizados pelos integrantes da cadeia de valor”.

Para Dorst (2016, p. 6), a Indústria 4.0 se refere à:

“disponibilidade de informações relevantes em tempo real por uma rede de comunicação que envolve a criação de valor, assim como a habilidade de selecionar a melhor cadeia de valor possível a partir de dados disponíveis”.

Schuh *et al.* (2017, p.10) definem a Indústria 4.0 como:

“a comunicação e interconexão multilateral, em tempo real, de alto volume de dados, entre sistemas físico-cibernéticos e pessoas.”

Para Xu, Xu e Li (2018), a Indústria 4.0 é a nova geração de sistemas de manufatura composta por CPS que integram e sincronizam, em tempo real, dados entre os objetos físicos e o ambiente computacional cibernético.

### **2.1.3 TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0**

Muitos pesquisadores propõem as tecnologias necessárias para a operação da Indústria 4.0.



Hermann, Pentek e Otto (2016) identificaram, com base na revisão da literatura, os quatro componentes chave que formam a Indústria 4.0: os CPS, a IoT, a IoS e as Fábricas Inteligentes. Para os autores, o componente mais importante da Indústria, os CPS, são formados a partir da fusão dos mundos físico e virtual. A IoT permite que as “coisas” e objetos, como sensores, atuadores, materiais e demais equipamentos, possam interagir uns com os outros em um ambiente cooperativo. A IoS habilita a oferta e fornecimento de serviços interconectados globalmente, formando uma infraestrutura virtual de cadeia de atividades mundial para atender os requisitos e demanda dos clientes. As Fábricas Inteligentes são formadas por operações que suportam as pessoas e máquinas na execução das suas atividades por meio de sistemas automáticos de reconhecimento do contexto do ambiente.

Para Kagermann *et al.* (2013), a essência da Indústria 4.0 está envolvida com a integração dos CPS nas atividades da logística e da manufatura e no uso da IoT e IoS nos processos industriais.

Anderl (2014) explica que as tecnologias fundamentais da Indústria 4.0 são os CPS, tecnologias de internet (IoT, IoS e IoD – *Internet of Data*), componentes como portadores de informação e proteções de segurança e privacidade da rede de comunicação.

Para Wan, Cai e Zhou (2015) a Indústria 4.0 é constituída por CPS e outras tecnologias de suporte à comunicação que operacionalizam as fábricas inteligentes. Essas fábricas são formadas por equipamentos distribuídos que se interconectam pelos sistemas de comunicação para obter a integração do mundo virtual com o físico.

Shafiq *et al.* (2015) apresentam que a Indústria 4.0 está baseada nos conceitos tecnológicos dos CPS e da IoT. Qin, Liu e Grosvenor (2016) concordam que a Indústria 4.0 é formada pelas tecnologias dos CPS e da IoT.

Para Roblek, Mesko e Krapez (2016), a Indústria 4.0 é baseada na associação dos CPS, IoT e IoS. Essa integração de tecnologias deve adaptar os produtos e serviços industriais de forma automática às necessidades individuais dos clientes, o que aumentará o valor agregado das organizações.

Por sua vez, Santos *et al.* (2017) apresenta a Indústria 4.0 como uma mescla de tecnologias e conceitos. Os conceitos são apresentados como: servitização, abrangência à cadeia de suprimentos, customização em massa, digitalização, adaptabilidade, sistemas autônomos e inteligentes, decisões descentralizadas e distribuídas, segurança da rede, colaboração e interconexão. As tecnologias são definidas como: CPS, IoT, impressão 3D, realidade aumentada e Fábricas Inteligentes.

Chen *et al.* (2018) apresentam as tecnologias da Indústria 4.0 como a integração das tecnologias aplicadas de CPS, IoT, computação em nuvem, *big data* e Fábricas Inteligentes.

Já para Oztemel e Gurseu (2018) a Indústria 4.0 é composta pelos componentes de CPS, sistemas de armazenamento na nuvem (*cloud*), comunicação entre máquinas (*machine-to-machine*), fábricas inteligentes, realidade virtual, IoT, inteligência do negócio (*business intelligence*) e manufatura virtual.

Ghobakhloo (2018) apresenta a Indústria 4.0 como a integração das tecnologias de CPS, IoT, IoS, IoD, IoP (*Internet of People*), computação em nuvem, *big data*, *blockchain*, segurança cibernética, realidade aumentada, automação dos robôs industriais, manufatura aditiva e modelagem e simulação.

Para Frank, Dalenogare e Ayala (2019), a Indústria 4.0 é a integração de quatro dimensões: a manufatura inteligente, os produtos inteligentes, a cadeia de suprimento inteligente e os trabalhos inteligentes, em que a primeira é a principal. Esses autores explicam ainda que essa principal dimensão, a manufatura inteligente, somente é conseguida pela sinergia das tecnologias dos CPS com a IoT.

Cimini *et al.* (2019) apresentam que a Indústria 4.0 é baseada nas tecnologias de CPS, IoT, sensores inteligentes, *big data* e manufatura em nuvem.

Assim, os CPS são a base fundamental da Indústria 4.0 e proveem inteligência e comunicação aos sistemas da fábrica, com o propósito de permitir comunicação entre os agentes industriais e autocontrole dos processos da

manufatura (ANDERL, 2014). Uma Indústria 4.0 é constituída a partir da aplicação dos CPS nos sistemas de produção industriais (DRATH e HORCH, 2014). Para transformar uma fábrica em uma Indústria 4.0 é necessário, principalmente, integrar os CPS nos seus processos operacionais (SCHLECHTENDAHL *et al.*, 2014; OZTEMEL e GURSEV, 2018). Os CPS levarão os sistemas de produção para a era digital e serão a base tecnológica para a quarta revolução industrial (SCHLICK, 2012). A transformação das fábricas atuais em Indústrias 4.0 somente ocorrerão a partir da integração dos CPS com a produção, logística e serviços operacionais (LEE, BAGHERI e KAO, 2014). Os CPS são a tecnologia habilitadora da Indústria 4.0 (KAGERMANN, 2014).

## **2.2 SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS (CPS)**

O surgimento do termo Sistemas Físico-Cibernéticos (*Cyber-physical Systems* - CPS) é atribuído a Helen Gill na *National Science Foundation* (NSF) em 2006, que classificou esses sistemas como uma futura proeminente tecnologia (LEE e SESHIA, 2015). Porém, outros pesquisadores entendem os CPS como uma evolução natural dos equipamentos eletrônicos e da comunicação embarcada (TÖRNGREN *et al.*, 2014).

Muitos autores apresentam os CPS de forma abrangente com propriedades genéricas dos sistemas computacionais, dos sistemas de comunicação ou dos sistemas de controle.

Para Shi *et al.* (2011) os CPS são apresentados como a integração da computação com sistemas físicos e suas características são diferentes dos atuais sistemas computacionais em tempo real e das redes de sensores existentes.

Sanislav e Miclea (2012) explicam os CPS como a nova geração de sistemas que possuem informação e conhecimento integrados aos objetos físicos.

Marwedel e Engel (2012) entendem os CPS a partir da combinação dos sistemas embarcados com o ambiente físico.

Já, Ahmed, Kim e Kim (2013) apresentam os CPS como a integração dos sensores e atuadores nos sistemas cibernéticos para controle do mundo físico.

Por essa abrangência e integração de diversas características, os CPS são comumente confundidos ou limitados a outros sistemas e conceitos como: *Big Data*, *Internet of Things*, *Cloud Communication*, *Machine-to-Machine Communication*, *Systems of Systems*, Sistemas Mecatrônicos, *Wireless Sensor Network*, Indústria 4.0, Sistemas Cibernéticos, entre outros (LEE, 2015) .

### **2.2.1 CONCEITO DE CPS**

Muitos artigos apresentam uma visão ampla dos CPS a partir das necessidades do próprio sistema, evolução de sistemas existentes, tecnologias necessárias para sua operação e desafios na sua implementação. Assim, os CPS devem ser confiáveis, seguros, consistentes e permitir a intersecção dos elementos físico e cibernético (HU *et al.*, 2016).

Cárdenas, Amim e Sastry (2008) demonstram que os CPS são a integração das capacidades da computação com a comunicação para o monitoramento e controle dos elementos do mundo físico, onde a comunicação deve ser segura para evitar intrusões no sistema.

Wolf (2009) explica os CPS como o avanço da computação associada aos equipamentos de controle permitindo novos níveis de eficiência e desempenho.

Baheti e Gill (2010) definem os CPS como uma geração de sistemas com as capacidades computacional e física integradas e apropriadas para a interação com os seres humanos com o objetivo de incorporar o conhecimento e os preceitos de engenharia e computação.

Lee (2010) apresenta que os CPS são a integração dos processos físicos com os processos computacionais. Computadores embarcados e redes de comunicação monitoram (do físico para o cibernético) e controlam (do cibernético para o físico) os processos físicos, usualmente em malha fechada onde tanto os elementos físicos quanto computacionais interagem mutuamente.

Para Rajkumar *et al.* (2010) os CPS são equipamentos integrados a computadores com ampla capacidade de comunicação.

Derler, Lee e Sangiovanni-Vincentelli (2012) apresentam os CPS como desafios em tecnologia devido à heterogeneidade de seus agentes, operações concorrentes e temporalidade do sistema, demonstrando que as tecnologias existentes atendem parcialmente os requisitos dos CPS.

Park, Kim e Fox (2014) explicam os CPS como sistemas que operam em tempo real e, por isso, novos algoritmos computacionais devem ser desenvolvidos.

Anderl (2014) apresenta os CPS como uma evolução dos sistemas embarcados com a integração dos sistemas de comunicação em rede, sensores e atuadores.

Para Leitão, Colombo e Karnouskos (2015) a automação industrial é a base dos CPS. Esses autores definem que os CPS são equipamentos formados a partir dos sistemas de automação industriais já existentes aliados às características da tecnologia da informação e redes de comunicação.

Rho, Vasilakos e Chen (2016) explicam que os CPS representam uma ampla nova geração de equipamentos que integram as capacidades de comunicação e computação com a dinâmica dos sistemas físicos e de engenharia.

Já Jamaludin e Rohani (2018) apresentam que os CPS como o acoplamento entre sistemas computacionais e físicos, capazes de controlar coordenadamente complexos multi-sistemas.

A Academia Nacional de Ciência e Engenharia da Alemanha – ACATECH (ACATECH, 2017), pioneira em pesquisas para a implementação da Indústria 4.0 nas fábricas europeias, corrobora com o conceito de CPS de Lee (2010). Com isso, dois exemplos de CPS podem ser identificados nos conceitos apresentados pela ACATECH:

1. processos produtivos de uma de empresa de manufatura, que monitoram e controlam as máquinas no ambiente fabril para suportar a customização de um produto para um determinado cliente (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

2. veículos autônomos, que monitoram o ambiente das rodovias e se comunicam com os demais veículos para controlar seu sistema de direção e aceleração para alcançar um destino específico, sem acidentes (GEISBERGER e BROY, 2014).

Para elucidar esses dois exemplos do mesmo conceito, baseado nas explicações de Lee e Seshia (2015), a Figura 6 apresenta a estrutura de um CPS aplicado ao monitoramento e controle de um processo (planta física) em que tanto o equipamento 1 quanto o equipamento 2 devem possuir tecnologias e características de CPS, operando mutuamente com a mesma finalidade.

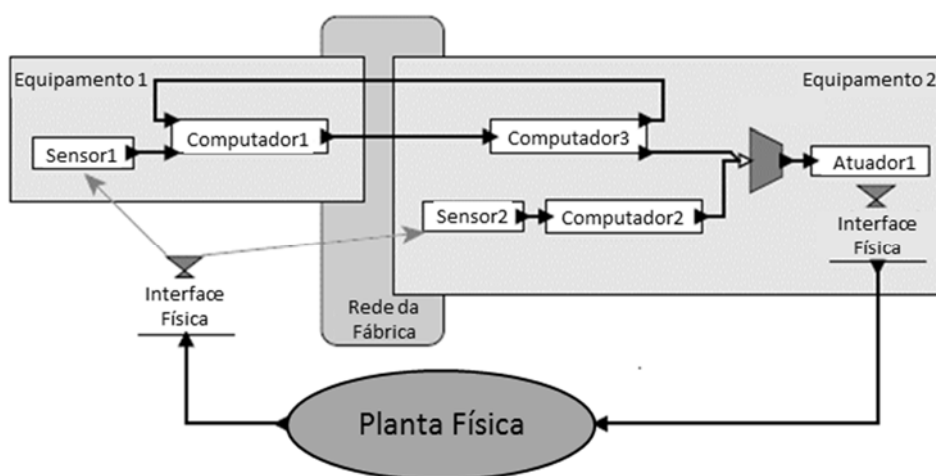


Figura 6 – Estrutura física e cibernética de um CPS

(traduzido de Lee e Seshia, 2015)

Anteriormente e com o mesmo conceito, Derler, Lee e Sangiovanni-Vincentelli (2012) já apresentavam uma aeronave para ilustrar os CPS. Para esses autores, cada sub-sistema/equipamento da aeronave é um CPS, como o dispositivo de gerenciamento de combustível.

Lee e Seshia (2015), desenvolveram todas as apresentações e explicações sobre CPS utilizando como exemplo um *drone*, considerando este equipamento como um CPS.

Wang, Torngren e Onori (2015) exemplificam os CPS como um processo de manufatura orientado a serviços com capacidade de auto-organização dos seus dispositivos para atender às necessidades de customização dos clientes. Esses mesmos autores também ilustram os CPS como um equipamento, uma

estação de trabalho individual, composta por um braço robótico operado remotamente em tempo real.

Hu *et al.* (2016) apresentam um equipamento, uma turbina eólica, com seus sensores e controles integrados às redes de comunicação, como um CPS.

Por sua vez, Lezynski *et al.* (2019) apresentam como CPS um equipamento de armazenagem de energia elétrica, composto por bancos de baterias e os módulos de controle da conversão de tensão interligados à rede de comunicação que possibilitam sua integração ao sistema elétrico de potência.

Face ao exposto, os CPS podem ser entendidos, de forma holística e resumida, desde processos amplos até equipamentos singulares em que há a união das propriedades computacionais com as propriedades de comunicação dos elementos aplicadas aos processos físicos com o propósito de monitoramento e controle compartilhado com outros sistemas. A Figura 7 apresenta os elementos de um CPS e suas interações.

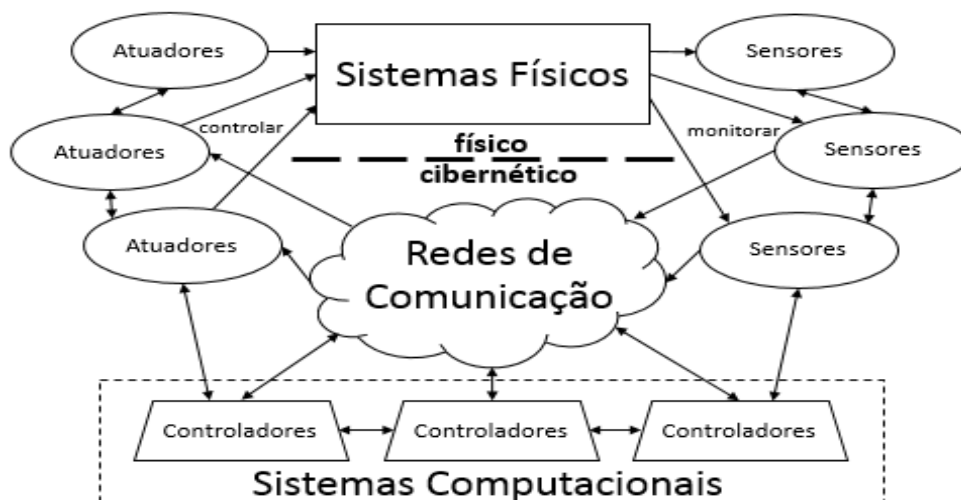


Figura 7 - Elementos dos sistemas físico-cibernéticos  
(adaptado de Cárdenas, Amin e Sastry, 2008)

Gunes *et al.* (2014) explicam que os elementos físicos referem-se aos fenômenos físicos que devem ser monitorados ou controlados. Os elementos cibernéticos referem-se aos dispositivos computacionais que processam as informações e se comunicam entre si. As interfaces de comunicação são as redes de dados e os componentes que intermeiam os processos físicos com os

cibernéticos permitindo o monitoramento e controle (sensores e atuadores). Esses autores ainda detalham os elementos do CPS como:

- elementos físicos: nesses elementos há uma dinâmica de alterações de comportamento com o tempo, sendo a lei de evolução que rege o desempenho do sistema determinada pelo próprio sistema físico e as ações de controle que são exercidas sobre ele. Estes são os elementos que os CPS devem monitorar e controlar para garantir segurança nas operações e eficiência nos processos.
- elementos cibernéticos: elementos compostos pelos computadores e *softwares*, devem abstrair o comportamento do elemento físico como parte da semântica de operação contínua para uma operação discreta. Nos computadores o tempo empregado na execução das operações, na leitura dos sensores e na escrita nos atuadores é sequencial, apresentando inúmeros desafios frente ao tempo contínuo de eventos concorrentes dos processos físicos, e deve ser cuidadosamente observado durante o projeto e validação do sistema.
- redes de comunicação: essas redes interligam todos os elementos dos CPS e são apresentadas como um agente que deve garantir a confiabilidade das informações, a segurança dos dados, a seguridade do sistema com velocidade de operação e eficiência na multiplexação dos dados. Proteção contra ataques ou intrusões nas redes de comunicação são características fundamentais desses agentes, uma vez que a abrangência do recurso se estende a todos os elementos do sistema aumentando sua vulnerabilidade. Shakshuki, Malik e Sheltami destacam ainda que as redes de comunicação ainda devem compartilhar a energia dos CPS de forma eficiente.
- sensores e atuadores: com suas características de comunicação em rede (*sensor and actuator networks – SAN*) são elementos de interligação que captam informações da dinâmica física (sensores) ou exercem ação de controle sobre o elemento físico (atuadores). Para garantir a confiabilidade e segurança do sistema vários parâmetros desses elementos devem ser considerados no desenvolvimento do projeto dos CPS, entre os principais



apresenta-se a capacidade de trabalho, faixa de atuação, velocidade de operação, resposta em tempo real e consumo de energia.

### **2.2.2 CARACTERÍSTICAS E TECNOLOGIAS DOS CPS**

Nos últimos anos diversos autores se propuseram a apresentar as características dos CPS e outros a desenvolver as tecnologias empregadas nesses sistemas para garantir a execução excelente e eficiente dessas características.

Shi *et al.* (2011) apresentam as características do CPS como a forte integração entre sistemas computacionais e os processos físicos, capacidade cibernética de cada componente físico, capacidade de comunicação dos componentes em diversas escalas, funcionamento adequado frente a complexidade temporal e espacial, possibilidade de reconfiguração e reorganização, alto grau de automação e controle e uma operação confiável.

Para Sanislav e Miclea (2012) as características dos CPS são demonstradas em termos de funcionalidade, desempenho, confiabilidade e seguridade (adaptabilidade, gerenciamento e repetibilidade) e custo, onde os CPS devem possuir como atributos principais entradas e retornos para o ambiente físico, capacidade de controle distribuído de suas funções, desempenho em tempo real, ampla cobertura geográfica sem comprometer a segurança dos componentes e capacidade de controle dos seus sistemas de sistemas (*System Of Systems – SoS*).

Lu *et al.* (2014) apresentam as características dos CPS como: segurança, seguridade (confidencialidade, integridade, disponibilidade), confiabilidade e resiliência a condições severas.

As características do CPS são também demonstradas por Gunes *et al.* (2014) como confiabilidade (confiança dos resultados – *dependability*, e confiança no funcionamento – *reliability*), disponibilidade, segurança, robustez, previsibilidade, acuracidade, sustentabilidade, adaptabilidade, resiliência, eficiência, seguridade, integridade, confidencialidade, heterogeneidade e capacidade de escalar a outros sistemas, analisar seus componentes individualmente, trabalhar com diversos componentes heterogêneos como um

só sistema, ser reconfigurável, controlar cada componente do sistema individualmente e ser passível de manutenção rápida e fácil.

Para Leitão, Colombo e Karnouskos (2015) as características dos CPS são: automação, computação, comunicação, cooperação, modularidade, heterogeneidade, interação e ter objetivos comuns a outros sistemas.

Yoo e Shon (2016) adicionam que as características dos CPS devem ser baseadas na vulnerabilidade, requisitos de seguridade e arquitetura heterogênea do sistema.

Jamaludin e Rohani (2018) explicam que as características dos CPS são quatro: heterogeneidade, segurança, execução em tempo real e predição.

Por sua vez, Lun *et al.* (2019) explicam as características dos CPS como a integração das características da computação, redes de comunicação e processos físicos.

Pelas sínteses das pesquisas mencionadas é possível observar que existem visões complementares, outras desalinhadas, muitas específicas a um único propósito e algumas até mesmo divergentes sobre as características dos CPS. Essa ampla gama de informações distintas e dispersas em vários artigos dificulta a compreensão dos pesquisadores, prejudica a evolução das novas tecnologias habilitadoras e atrasa o desenvolvimento dos CPS. Portanto, a definição clara e alinhamento unificado das características de operação e tecnologias empregadas nos CPS é uma necessidade.

Muitas instituições de pesquisa que desenvolvem trabalhos sobre CPS possuem programas de pesquisa com suas próprias definições de características e tecnologias dos CPS, como o *Advanced Manufacturing Partnership 2.0* nos EUA, o *Industrie 4.0* na Alemanha, o *Factories of the Future* na União Européia e o *Monozukuri* no Japão (WANG, TÖRGREN e ONORI, 2015). A Alemanha se destaca entre os demais países produtores de conhecimento sobre CPS pela busca da unificação dos esforços de pesquisa entre as academias, o governo e as empresas de tecnologia, almejando ser o país pioneiro na implantação plena destes sistemas (GEISBERGER *et al.*, 2011).

A Comissão Europeia, com o objetivo de desenvolver um plano de pesquisa e inovação em CPS que assegure a competitividade do continente nessa área fundou, em 2013, o projeto CyPhERS (*Cyber-Physical European Roadmap and Strategy*) (TÖRNGREN *et al.*, 2014), reunindo profissionais da academia e indústrias. Esse projeto realizou uma ampla análise da literatura e determinou como características dos CPS as anteriormente definidas pela ACATECH. A academia alemã estabelece as cinco características do CPS para implementação na Indústria 4.0. Broy e Geisberger (2011) as descrevem como:

- a. Mescla dos mundos físico e virtual: fusão dos mundos físicos e virtuais pela avaliação física local e global com controle dos componentes e sistemas em tempo real;
- b. Sistemas de sistemas com adaptação dinâmica dos limites: serviços e componentes dinamicamente integrados, possibilitando o multifuncionamento dos dispositivos e sistemas, cooperando com outros sistemas, subsistemas ou serviços;
- c. Adaptação ao contexto em operação total ou semi-autônoma: adaptação às alterações do ambiente e requisitos de aplicação possibilitando sua operação plena ou semi-autônoma pela detecção das condições relevantes de seu emprego;
- d. Sistemas cooperativos com controle distribuído: comportamento confiável do sistema pela interação coordenada dos múltiplos agentes plenos ou semi-autônomos, englobando controle interativo das máquinas, sistemas, serviços e humanos;
- e. Cooperação extensiva homem-sistema: capacidade de detectar e interpretar as condições físicas e emocionais dos usuários estabelecendo o comportamento humano como condição do sistema e/ou estabelecendo ações interativas homem-máquina.

Cada característica dos CPS representa determinadas competências que esses sistemas devem ser capazes de satisfazer (BROY, CENGARLE e GEISBERGER, 2012). A relação entre as características e competências dos CPS estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Competências dos CPS por característica

|   |   |  |   |   |
|---|---|--|---|---|
| <p><b>(1) Físico-Cibernético, Sensores/Atuadores, Redes Comunicação, Virtual, Tempo Real</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coleta paralela dos dados, fusão, processamento dos dados físicos, local, global e em tempo real</li> <li>- Interpretação das realizações dos objetivos e tarefas dos CPS</li> <li>- Aquisição, interpretação, dedução, predição das falhas, obstáculos, riscos</li> <li>- Interação, integração, regras para um controle das funções e componentes CPS</li> <li>- Distribuição global, controle e regulação das rede de comunicação em tempo real</li> </ul> | <p><b>(2) Sistemas de Sistemas (SoS), Controle da Rede de Comunicação com Limites Dinâmicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interpretação do contexto e dados da situação sobre diversos níveis, dependendo das diferentes situações de aplicação</li> <li>- Seleção sistemática, incorporação, coordenação e uso de serviços dependendo da situação, objetivo local ou local, e comportamento</li> <li>- Integração e composição de serviços, controle descentralizados, reconhecimento de serviços, dados, funções e integração dinâmica</li> <li>- Auto-organização</li> <li>- Confiabilidade e aderência assegurada da Qualidade do Serviço (QoS)</li> <li>- Avaliação dos benefícios e requisitos de qualidade para a aplicação (QoS) dos componentes e serviços incorporados - assim como possíveis riscos</li> <li>- Acesso controlado aos dados dos sistemas e dos serviços</li> </ul> | <p><b>(3) Adaptação ao Contexto e Sistemas Autônomos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconhecimento abrangente e contínuo do contexto</li> <li>- Coleta contínua, observação, seleção, processamento, avaliação, decisão, execução, comunicação dos dados de contexto, simulação e aplicação dos dados (em tempo real)</li> <li>- Adaptação sistemática das interações, coordenação, controle com/de outros sistemas e serviços</li> <li>- Reconhecimento, análise e interpretações objetos, sistemas e usuários</li> <li>- Criação de modelo para aplicação de campo e domínios, incluindo suas funções, objetivos e requisitos, disponibilidade de serviços e tarefas</li> <li>- Avaliação dos objetivos e etapas, considerando alternativas em relação aos custos e riscos</li> <li>- Auto-reconhecimento em termos de conhecimento da própria situação, opções e atualização das ações</li> <li>- Aprendizado dos processos de trabalho modificados, processos logísticos, hábitos, interações, etc. e adaptação ao correspondente comportamento</li> <li>- Capacidade de auto-organização</li> </ul> | <p><b>(4) Sistemas Cooperativos com Controle Distribuído</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Percepção distribuída, cooperativa e interativa e avaliação da situação</li> <li>- Determinação distribuída, cooperativa e interativa das etapas executadas - depende da avaliação da situação, objetivos dos participantes individuais e comunitários (local vs global)</li> <li>- Subsequente avaliação coordenada e negociação das decisões tomadas com controle próprio e compartilhado e autonomia nas decisões</li> <li>- Decisões tomadas baseadas no conhecimento da incerteza</li> <li>- Aprendizado cooperativo e adaptação à situações e requisitos</li> <li>- Estimativa da qualidade dos serviços e habilidades próprias e externas</li> <li>- Processamento coordenado de dados massivos</li> </ul> | <p><b>(5) Cooperação Extensiva Humano/Sistema</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interface homem-máquina (HMI) intuitiva, multimodal, ativa e passiva - suporte com controles simplificados</li> <li>- Suporte amplo (espaço e tempo) e percepção aumentada e capacidade de agir nos indivíduos e grupos</li> <li>- Reconhecimento e interpretação do comportamento humano incluindo emoções, necessidades e intenções</li> <li>- Aquisição e avaliação dos dados relacionados ao estado e contexto dos humanos e sistemas (extensão da percepção e avaliação das habilidades)</li> <li>- Decisões integradas e interativas e ações entre sistemas e indivíduo ou grupos</li> <li>- Habilidade para aprender</li> </ul> |
|---|---|--|---|---|

(traduzido de Broy, Cengarle e Geisberger, 2012)

A academia alemã também define as sete habilidades (I a VII) e as respectivas dezessete tecnologias (1 a 17) que suportam essas competências dos CPS para sua inserção na Indústria 4.0. Geisberger e Broy (2014) as descrevem como:

I Reconhecimento físico: habilidade de detectar e avaliar o ambiente físico

1. Fusão de sensores: fusão de dados dos diversos sensores para obtenção de medições mais acuradas ou dados de maior ordem
2. Reconhecimento de padrões: uso de algoritmos e sistemas para reconhecer padrões de dados e comparar com padrões existentes
3. Reconhecimento de situações: detecção das dinâmicas situações físicas pelos dados recebidos dos sensores em determinados padrões

II Previsão e planejamento das ações: habilidade de reconhecimento estendido e adaptação cooperativa ao ambiente assegurando a execução da sua função

4. Avaliação da situação por multi-critérios: análise, interpretação e avaliação das situações por diversos critérios em tempo real
5. Abordagem por inteligência artificial: automação do comportamento inteligente do sistema, tomando decisões, em resposta ao ambiente

III Cooperação e Negociação: habilidade dos sub-sistemas cooperarem para atender seus objetivos

6. Sistemas multi-agente: cooperação, negociação e interação dos diversos e diferentes agentes dos sistemas para controle da situação em um ambiente variável

IV Interação homem-máquina: habilidade de suportar as ações e interações humanas, executando operações a seu favor automaticamente, influenciando inclusive o comportamento humano

7. Interface homem-máquina e modalidades de interação: modalidade, lógica e regras de interação entre homem e máquina

8. Reconhecimento de plano e intenção: detecção da intenção do usuário ou agentes analisando seu prévio comportamento ou o efeito do comportamento no ambiente
9. Modelamento humano e do usuário: diagnóstico, simulação, previsão ou suporte ao comportamento humano nas interações com os sistemas tecnológicos

V Aprendizado: habilidade de construir conhecimento relativos à situações particulares de comportamento baseada na experiência de interações em diferentes contextos

10. Aprendizado da máquina: uso da tecnologia da informação e matemática para extração de conhecimento dos dados disponíveis

VI Evolução: habilidade do sistema em se auto-organizar e adaptar estratégias de funcionamento

11. Auto-organização na manufatura: capacidade de produção e adaptação dos processos para fabricação de componentes e execução de serviços pela identificação do material recebido
12. Redes de comunicação auto-organizáveis: flexibilidade das redes de comunicação garantirem ausência de problemas e operações confiáveis frente as constantes mudanças do ambiente e dos requisitos de funcionamento

VII Tecnologias básicas: habilidade de executar as tecnologias habilitadoras e fundamentais, necessárias ao pleno funcionamento dos CPS

13. Modelos de domínio: formato construtivo do sistema permitindo a cooperação entre as partes com alto grau de automação (projeto do sistema, arquitetura do *hardware* ou *software*, sistema operacional, linguagens de programação, simulação do constructo, aplicações tangíveis dos CPS, entre outros)
14. Sensores e atuadores: competência dos sensores medirem qualitativa e quantitativamente o ambiente físico e dos atuadores em converter os sinais elétricos em parâmetros físicos

15. Plataformas de comunicação: tecnologia ubíqua da infraestrutura das redes de comunicação e plataformas de controle das informações (projeto da rede, arquitetura do *hardware* ou *software* da rede, processo de *scheduling* e fila dos dados, interface de comunicação dos elementos heterogêneos, análise do consumo de energia do dispositivo de comunicação, segurança e robustez a ataques pela rede, entre outros)
16. Processadores paralelos: confecção de uma eletrônica unificada e menor, mais acessível e potente com otimização do consumo de energia
17. Controladores distribuídos: sistemas de controle com componentes geograficamente dispersos em rede e hierarquicamente estruturados.

A seguir, apresenta-se sucintamente essas tecnologias.

#### **2.2.2.1 TECNOLOGIA DE FUSÃO DE SENSORES (FS)**

Um sensor é um instrumento que transforma uma grandeza física/química em um estímulo, geralmente elétrico, com o propósito de medição e/ou monitoramento (FRADEN, 2016). Esses dispositivos permitem a transformação de grandezas como pressão, fluxo, aceleração, inclinação, temperatura, entre outros, em sinais elétricos para que os controladores dos equipamentos possam monitorar e gerenciar os sistemas (RIPKA e TIPEK, 2007).

Uma fusão de sensores é definida como a combinação das informações de dois ou mais sensores para obter uma propriedade particular do ambiente mensurado (HACKETT e SHAH, 1993). A fusão de sensores integra dados de sensores, ou derivado desses, sendo que a informação resultante é melhor, que se os sensores fossem usados individualmente (ELMENREICH, 2001).

Essa tecnologia evoluiu desde os sensores simples até a fusão de sensores. A caracterização dessa evolução dá-se de um sensor individual de informação dicotômica que apresenta (ou não) a existência de uma entidade até um sensor integrando com fusão de diversas informações que permite ao controlador inferir sobre o ambiente (HALL, 1997). Essa evolução é apresentada na Figura 8, onde o nível a montante contém todas as características abaixo dele, mais a sua própria.

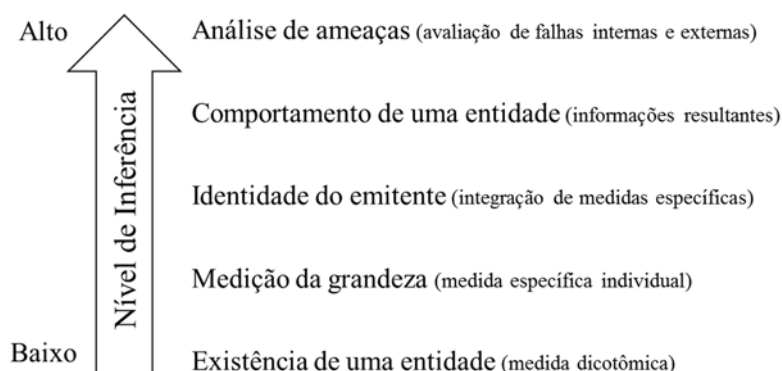


Figura 8 – Evolução da inferência dos sensores

(adaptado de Hall, 1997)

A tecnologia de fusão de sensores apresenta ainda benefícios quando comparada aos sensores individuais, independente da técnica empregada (DASARATHY, 1997). Entre as principais vantagens, uma fusão de sensores apresenta (BOSSE, ROY e GRENIER, 1996):

- Maior confiabilidade: múltiplos sensores apresentam redundância, que permite ao sistema prover informação mesmo em caso de falha parcial de algum sensor
- Redução de incerteza: informações fundidas de um conjunto de sensores reduzem a incerteza na interpretação de um valor medido
- Robustez a interferências: a medição das grandezas por sensores integrados com dados fundidos permite uma menor vulnerabilidade do sistema a interferências
- Melhor resolução: medidas múltiplas e independentes da mesma grandeza auferem uma melhor resolução do valor avaliado

#### **2.2.2.2 TECNOLOGIA DE RECONHECIMENTO DE PADRÕES (RP)**

A tecnologia de reconhecimento de padrões tem ampla utilização e é de grande significância, pois se estende desde o reconhecimento de simples caracteres ou documentos até as complexas falhas em uma máquina ou diagnósticos médicos (BISHOP, 1995).



O reconhecimento de padrões é definido como uma tecnologia que analisa um processo/objeto e o classifica dentro de uma determinada quantidade de categorias (THEODORIDIS e KOUTROUMBAS, 2009).

Essa tecnologia é fundamentada em técnicas de inteligência artificial para realizar análises estatísticas que classificam a natureza probabilística dos dados disponíveis sobre um processo/objeto, transformando assim inúmeros dados em informação relevante para o conhecimento de seu comportamento (BISHOP, 1995). Entre essas principais técnicas citam-se a auto-organização estatística dos dados em grupos de características similares, os algoritmos genéticos com aproximação ótima de operação e as redes neurais com propriedades de aprendizado adaptativo (BHAGAT, 2005).

O reconhecimento de padrões pode ser ordenado em cinco níveis conforme sua capacidade de abstração (ZAREMBA, 2010). O Quadro 2 apresenta esses níveis de abstrações (DEVEDZIC e RADOVIC, 1999).

Quadro 2 – Níveis de abstrações da reconhecimento de padrões

| Nível | Nível de Abstração | Semântica   |
|-------|--------------------|---|
| 1     | Primitivo          | reconhecimento de objetos simples                         |
| 2     | Componente         | reconhecimento de objetos complexos                       |
| 3     | Bloco              | reconhecimento de da funcionalidade dos objetos           |
| 4     | Sistema            | reconhecimento do comportamento dos objetos               |
| 5     | Integração         | reconhecimento do comportamento de objetos que se adaptam |

(adaptado de Devedzic e Radovic, 1999)

Em uma aplicação típica, o reconhecimento de padrões opera a partir de dados externos obtidos por meio de sensores (PEREZ-CORTES, GUARDIOLA e PÉREZ-JIMÉNES, 2009). A assertividade da tecnologia de reconhecimento de padrões é dependente do nível de informação recebido pelos sensores e quanto maior a ordem dos dados, maior é a precisão da resposta (ELMENREICH, 2001). Dessa forma, a acurácia e abstração dos dados captados pelos sensores para o reconhecimento de padrões são de fundamental importância, pois com base nesses é realizada a estatística de classificação (KIM, 2010).

O reconhecimento de padrões é comumente empregado como uma tecnologia de apoio a várias outras tecnologias em muitas áreas de aplicação,

como agricultura, economia, engenharia, medicina, militar, segurança, entre outras (SÁ, 2001).

### **2.2.2.3 TECNOLOGIA DE RECONHECIMENTO DE SITUAÇÕES (RS)**

O reconhecimento de situações é uma tecnologia que analisa os elementos no ambiente, em um tempo e espaço, compreende seu significado e projeta seu estado no futuro (ENDSLEY, 1988).

Seu objetivo é identificar situações definidas em um fluxo de informações, para suportar processos decisórios filtrando condições de interesse (DAHLBOM, 2011). Entende-se que a partir de uma situação conhecida, é possível tomar ações apropriadas para melhorar o desempenho de um processo (ENDESLEY e JONES, 2004) ou conter uma ameaça (SINGH, GAO e JAIN, 2012).

O funcionamento da tecnologia de reconhecimento de situações é similar ao reconhecimento de padrões, porém mais complexo, pois o padrão a ser correspondido é um fato espaço-temporal, onde esse fato apresenta relações entre objetos no espaço e no tempo (LAMBERT, 2003). Entre os principais métodos de reconhecimento de situações estão os sistemas determinísticos baseados em regras, os sistemas de eventos discretos, as redes Petri de reconhecimento de atividade, os modelos markovianos de comportamento dinâmicos e as redes bayesianas (DAHLBOM, 2011).

O reconhecimento de situações pode ser classificado em três níveis (ENDESLEY e JONES, 2004):

1. Percepção: capacidade de percepção da realidade a partir das informações dos elementos do ambiente;
2. Compreensão: capacidade de entendimento da situação atual;
3. Projeção: capacidade antecipar possíveis situações futuras, e suas conseqüentes implicações, baseado na dinâmica da situação atual.

A Figura 9 ilustra os níveis de classificação da tecnologia de reconhecimento de situações.

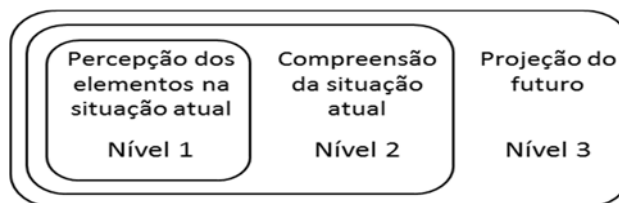


Figura 9 – Níveis de classificação de reconhecimento de situações

(adaptado de Endesley e Jones, 2004)

A tecnologia de reconhecimento de situações é fundamentada em outras tecnologias de apoio.

A tecnologia de fusão de sensores provê as informações necessárias para o reconhecimento de situações (LAMBERT, 2001). Uma fusão de sensores provê melhores informações para as inferências sobre situações físicas (HALL, 1997). O reconhecimento de situações é uma tecnologia intimamente dependente de sistemas operando com captação de informações por meio de fusão de sensores (BASS, 2000).

A correspondência entre os padrões de processos/objetos reais com os já conhecidos formam um dos elementos-base para a avaliação de situações (ENDSLEY, 2000). A tecnologia de reconhecimento de padrões permite a operação dos sistemas de reconhecimento de situações a um desempenho superior (CHEN *et al.*, 2012).

Por sua vez, a tecnologia de inteligência artificial suporta o reconhecimento de situações para a identificação de eventos de interesse e detecção de comportamentos anômalos (LAXHAMMAR, 2007). O reconhecimento de situações pode se beneficiar das competências da tecnologia de inteligência artificial nas aplicações de automação de equipamentos (STRUPKA, LEVCHENKOV e GOROBETZ, 2017).

Já a tecnologia de reconhecimento de plano e intenção permite que o reconhecimento de situações entenda as intenções dos agentes analisados para prever suas ações (ZHANG, MAN e YANG, 2009). A qualidade da informação sobre a intenção e planos dos agentes tem grande influência nas decisões tomadas pela tecnologia de reconhecimento de situações (DUSIRE e MUNDUTEGUY, 2000).

Ainda, a capacidade de aprendizado a partir da extração de dados apresenta a vantagem de auto-ajuste no reconhecimento de situações, pois a situação de interesse atual pode se alterar ao longo do tempo (BLADON, HALL e WRIGHT, 2002). As técnicas de aprendizado suportam os sistemas de reconhecimento de situações para que tornem-se flexíveis e efetivos (ISAFIADE e BAGULA, 2013).

#### **2.2.2.4 TECNOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO POR MULTI-CRITÉRIOS (MC)**

As avaliações de situação por múltiplos critérios são a base dos sistemas de suporte à decisão (*Decision Support Systems – DSS*) empregados nos grandes sistemas industriais de gerenciamento da operação (NOKHBATOLFOGHAHAAYEE, MENHAJ e SHAFIEE, 2010). Dessa forma, as decisões organizacionais devem ser tomadas com base na avaliação de um grupo de critérios que priorize as potenciais alternativas de solução da situação analisada (YOON e HWANG, 1995).

Para se obter uma avaliação da situação mais eficiente é necessário utilizar um grupo de critérios que reduzam a incerteza do ambiente em que a situação é avaliada (LU, ZHANG e RUAN, 2008).

Assim, a avaliação da situação por multi-critérios é entendida como a capacidade de analisar, interpretar e avaliar, em tempo real, as situações identificadas pela tecnologia de reconhecimento de situações (GEISBERGER e BROY, 2014).

Os mecanismos cognitivos relacionados ao reconhecimento de situações (percepção, compreensão e projeção) são acrescidos de tecnologias de decisão e análise do desempenho dessas decisões para formar um sistema de avaliação da situação (ENDESLEY e JONES, 2004). Essa estrutura é apresentada na Figura 10.

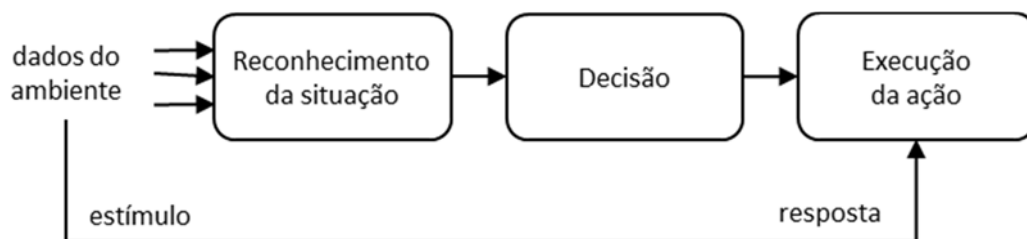


Figura 10 – Avaliação da situação

(adaptado de Endesley e Jones, 2004)

Muitos pesquisadores apresentam diversos critérios para se avaliar as situações. Porém, esses critérios podem ser agrupados em parâmetros diversificados do ambiente, como informações sociais, técnicas, regulatórias, de segurança, financeiras, entre outras (IMOUSSATEN, MONTMAIN e MAURIS, 2013). Nesse sentido, Aguezoul (2010) apresenta uma revisão da literatura sobre critérios de avaliação de situações envolvendo processos logísticos, estendíveis a todos processos industriais, em que mais de dois terços das citações são agrupadas em quatro macro-critérios, sendo por ordem de maior importância:

1. Custo: critério que considera o custo total da atividade avaliada, priorizando os menores valores que, assim, auferem maiores ganhos para o negócio;
2. Qualidade: critério relacionado à habilidade de mensurar os principais parâmetros de desempenho das atividades avaliadas, com posterior análise da capacidade de correção/melhoria;
3. Serviço: critério abrangendo as competências de gerenciamento das atividades resultando na solução desejada de maior eficiência;
4. Entrega: critério que observa a eficácia das atividades avaliadas quanto à entrega no prazo e na quantidade necessária ao longo de todo o fluxo analisado.

Para permitir uma avaliação de situações por multi-critérios é essencial a utilização da tecnologia de inteligência artificial, pois essa provê análises sistemáticas de causa-efeito das diversas possibilidades de soluções, priorizando-as para alcançar melhores resultados (STRUPKA, LEVCHENKOV e GOROBETZ, 2017). A inteligência artificial suporta a avaliação de situações com

a interpretação dos dados do ambiente, diagnose dos problemas apresentados e avaliação das alternativas de ações dos possíveis cenários, explorando as consequências e seus benefícios (CORTES, SANCHEZ-MARRE e CECCARONI, 2000).

#### **2.2.2.5 TECNOLOGIA DE ABORDAGEM POR INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)**

A tecnologia de inteligência artificial, apesar de ter seu início em 1956, ainda pode ser considerada como nova para a ciência e engenharia (RUSSELL e NORVIG, 2010).

A inteligência artificial é entendida como um esforço para se fazer computadores pensarem, no sentido completo e literal da semântica “máquinas com mentes” (HAUGELAND, 1985). Essa tecnologia é conceituada como a arte de desenvolver máquinas que executem funções onde se requer inteligência quando realizadas por humanos (KURZWEIL, 1992). Adicionalmente, a inteligência artificial estuda os computadores para fazer com que possam perceber, raciocinar e agir (WINSTON, 1992). Seu principal objetivo é o desenvolvimento de máquinas que tenham comportamento como se tivessem inteligência (WOLFGANG, 2011).

Atualmente, a tecnologia de inteligência artificial suporta diversas aplicações na sociedade, como: em veículos auto-guiados (THRUN, 2006), no reconhecimento de fala (ALHAWITI, 2015), nas máquinas automatizadas (CESTA *et al.*, 2007), na organização logística (CROSS e WALKER, 1994), na manufatura industrial (DUFLOU, VANCZA e AERENS, 2005), entre outras inúmeras funções (RUSSELL e NORVIG, 2010).

Pela sua abrangência, a tecnologia de inteligência artificial pode ser classificada em diversas técnicas, porém se destacam as principais por ordem de evolução: sistemas baseados em regras, raciocínio baseado em casos, algoritmos genéticos, redes neurais (OKE, 2008) e inteligência de enxame (CHEN, JAKEMAN e NORTON, 2008).

A técnica de sistemas baseados em regras (*Ruled-based System*) é formada por técnicas computacionais de inferência do tipo *se e então*, ou seja, se um padrão for reconhecido, uma ação é aplicada a partir de uma regra

definida (NG e ABRAMSON, 1990). Esses sistemas são fáceis de entender e implementar pois são elaborados a partir de regras condicionais definidas, o que limita sua aplicação, pois não podem aprender e evoluir (DHAR e STEIN, 1997).

A técnica de raciocínio baseado em casos (*Case-based Reasoning*) é fundamentada em algoritmos que imitam o passo-a-passo do pensamento humano para resolver problemas lógicos já solucionados anteriormente (AAMODT e PLAZZA, 1994), isto é, a solução ótima é inferida a partir de casos passados similares com resultados conhecidos armazenados em sua ampla base de dados (WATSON e MARIR, 1994). Nessa técnica há ainda a necessidade de grandes recursos computacionais para encontrar a melhor solução a partir das possíveis combinações das variáveis dos problemas com as soluções similares, em que pode ocorrer uma explosão combinacional (DORN, 1995).

Um algoritmo genético é uma técnica de inteligência artificial similar à seleção natural, que resolve os problemas por meio de adaptação da população que melhor se adequa à solução através das gerações de iterações (BUCKELES e PETRY, 1992). Essa técnica, apesar de possibilitar o processamento paralelo das informações, se ajusta a uma solução ótima singular por meio de seleções aleatórias, porém pode exigir inúmeras iterações computacionais (FORREST, 1993).

A técnica de redes neurais emprega a forma que o cérebro humano processa informações como base de funcionamento, sendo assim uma rede ponderada e interconectada (sinapses) de nós (neurônios) que podem aprender a partir de um treinamento ou com seu próprio erro (YAO, 1999). Essa técnica é utilizada para resolver problemas de elevado processamento computacional, devido à grande possibilidade de combinação das variáveis, a partir do conhecimento de apenas algumas poucas soluções (JAIN, MAO e MOHIUDDIN, 1996). O formato de estruturação dos dados e a convergência não-linear para soluções apropriadas permitem que as redes neurais resolvam problemas complexos com dados variados de forma robusta e rápida (HAMMERSTRON, 1993).

Por sua vez, a técnica de Inteligência de enxame é formada por agentes decisórios individuais que operam socialmente em colônias, como abelhas, formigas, peixes ou pássaros (DENBY e LE HEGARAT-MASCLEB, 2003). Enquanto agentes individuais demonstram simplicidade em decisões, os enxames desses agentes exibem grande inteligência, se auto-organizando para encontrar soluções rápidas e ótimas para cada problema, já incluindo as interações que o ambiente exerce sobre o sistema (DORIGO, MANIEZZO e COLORNI, 1996). Os sistemas em que essa técnica é empregada possuem alta capacidade de adaptação ao ambiente e de gerar soluções ótimas, graças às regras locais dos agentes individuais e a habilidade do enxame em resolver as tarefas mesmo quando um ou mais agentes falham (DORIGO, BONABEAU e THERAULAZ, 2000).

As técnicas de inteligência artificial são utilizadas como ferramentas de solução e decisão para problemas que envolvem o modelamento da máquina em que o ambiente de aplicação deve ser parte do sistema (CHEN, JAKEMAN e NORTON, 2008). Por isso, a inteligência artificial é uma tecnologia de base que suporta muitos sistemas onde decisões automáticas são necessárias (RUSSELL e NORVIG, 2010).

#### **2.2.2.6 TECNOLOGIA DE SISTEMAS MULTI-AGENTE (MA)**

Um sistema multi-agente é um conjunto distinto de agentes individuais, em um mesmo ambiente, que interagem entre si e controlam-se mutuamente para resolver problemas específicos, que seriam muito difíceis ou impossíveis para um equipamento isolado (BLANES, INSFRAN e ABRAHÃO, 2009).

Por sua vez, um agente é entendido como uma entidade física ou virtual que reconhece e atua no ambiente de forma automática para atingir seus objetivos (FERBER, 1999). A Figura 11 apresenta as ações dos agentes no ambiente e a conseqüente interação entre esses agentes.



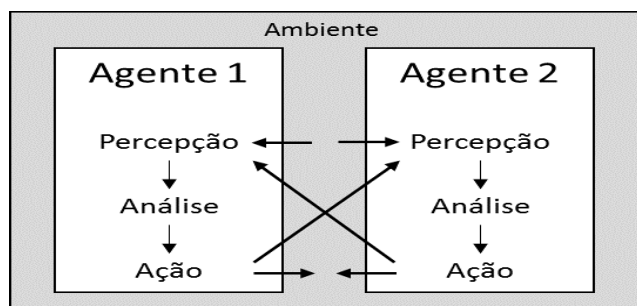


Figura 11 – Sistema multi-agente interagindo mutuamente

(traduzido de Roche *et al.*, 2010)

Os agentes podem utilizar diversificadas técnicas de inteligência, que reagem de forma diferenciada às alterações no ambiente, e é essa diferenciação que permite a um sistema multi-agente solucionar problemas complexos e atingir seus objetivos rápida e assertivamente (ROCHE *et al.*, 2010).

Dessa forma, para pertencer a um sistema multi-agente, um equipamento necessita ser um agente inteligente com automação flexível, ou seja, primeiramente deve cumprir sua função, depois ser automatizado e por fim ser inteligente (WOOLDRIDGE, 2002). Para isso, um agente deve possuir essas três características, por ordem de inteligência (MCARTHUR *et al.*, 2007):

1. Reatividade: o agente deve reagir automaticamente às mudanças do ambiente em um tempo razoável de forma que atinja seu objetivo.
2. Pró-atividade: o comportamento do agente pode ser alterando dinamicamente, se for necessário, redirecionando ações para executar sua função.
3. Habilidade Social: capacidade de interagir, negociar e cooperar com outros agentes e com humanos, de forma inteligente, para alcançar os objetivos comuns.

A tecnologia de sistemas multi-agente é aplicada em diversas áreas para resolver vários problemas, como: diagnósticos, monitoramento de condições, restauração de sistemas, simulação de mercado, controle de redes de comunicação, automação de sistemas, entre outras (XIE e LIU, 2017).

Assim, para executar essas aplicações, um sistema multi-agente se utiliza de todas as tecnologias necessárias para que um agente individual possa

executar suas funções de forma automática e inteligente, citando entre as principais: captação de dados por meio de sensores, interpretação dos dados para obter padrões relevantes, combinação das informações por técnicas de inteligência artificial, diagnóstico de situações para controle, adequação automática do seu comportamento para execução da função (MCARTHUR *et al.*, 2007) e aprendizado da reação do ambiente melhorando sua atuação (ROCHE *et al.*, 2010).

Adicionalmente, além das tecnologias empregadas para tornar os agentes individuais, automáticos e inteligentes, um sistema multi-agente deve empregar tecnologias próprias de inteligência artificial que assegurem seu funcionamento como um organismo complexo (HUA *et al.*, 2009).

Com isso, a tecnologia de avaliação por multi-critérios é essencial para um sistema multi-agente (BLOM e SHARPANSKYKH, 2015), pois auferem a capacidade de gerenciar múltiplas decisões e objetivos por meio da redução de complexidade da situação, em que cada agente individual faz seu próprio julgamento do contexto, limitado à sua atribuição no sistema (MOSTAFA *et al.*, 2013).

Ainda, em sistemas multi-agente, os humanos podem trabalhar junto com os dispositivos inteligentes para executar as tarefas desejadas, chamados de sistemas híbridos (WICKRAMASINGHE, AMARASIRI e ALAHAKOON, 2004). Nesses sistemas multi-agente híbridos, a tecnologia de interface homem-máquina tem papel fundamental (FRANZINI *et al.*, 2016), por garantir uma interação amigável, da forma correta e no tempo certo com os agentes humanos (NAM *et al.*, 2009).

Já a tecnologia de reconhecimento de plano e intenção permite aos sistemas multi-agente trabalhar como um organismo, em que os agentes auxiliam-se entre si (AHMAD e AGAH, 2013), considerando as ações futuras de cada indivíduo para que haja cooperação na busca de um resultado coletivo ótimo (YUE *et al.*, 2014). Além disso, os sistemas multi-agente que se utilizam da tecnologia de reconhecimento de plano e intenção para prever as ações de seus agentes têm um desempenho superior em relação aos que não utilizam essa tecnologia (ARGENTA e DOYLE, 2017).

Por sua vez, a tecnologia de auto-organização na manufatura possibilita aos sistemas multi-agente a flexibilidade, robustez, rápida resposta e reconfigurações necessárias para encontrar soluções ótimas dos problemas que possam surgir em sua operação (LEITÃO, BARBOSA e TRENTESAUX, 2012). As técnicas de auto-organização concedem aos sistemas multi-agente as propriedades de reagir às alterações no ambiente, de forma dinâmica, automática e descentralizada, evoluindo independente e continuamente (YE, ZHANG e VASILAKOS, 2017).

#### **2.2.2.7 TECNOLOGIA DE INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (HM)**

A tecnologia de interface homem-máquina deve permitir a transferência de informações entre humanos e máquinas da forma mais natural e intuitiva possível (DIX *et al.*, 2003). Também conhecida como interface homem-computador, é aplicada desde simples eletrodomésticos até equipamentos médicos e grandes sistemas de manufatura, em que a comunicação entre os usuários humanos e as máquinas é necessária (CANNAN e HUOSHENG, 2010).

Em uma interação entre homem e máquina, as influências impostas aos humanos são geralmente por meio dos sentidos e os comandos às máquinas são usualmente gerados a partir de controles motores. Para tanto, a visão, a audição e o tato são entendidos como os sentidos mais importantes, sendo por sua vez, a voz e a posição das mãos, cabeça e corpo os principais controles motores (DIX *et al.*, 2003).

Assim, muitas técnicas de interface entre homem e máquina foram desenvolvidas, sendo a pioneira os dispositivos de ação, texto e posicionamento, como os botões, luzes, teclados, *mouses*, *joysticks*, telas e impressoras (DIX *et al.*, 2003).

Logo após, a leitura do movimento dos olhos permitiu o entendimento de comandos para as máquinas que passaram a reagir com ícones e mensagens no local das telas onde os humanos olham (JACOB, 1993).

Surgiram também, técnicas que concederam às máquinas a capacidade de dialogar com os seres humanos, atendo-se a certos limites, a partir das

ferramentas de reconhecimento de voz incorporadas aos computadores com a inteligência artificial (JACOB, 1995).

Com o reconhecimento da voz, e suas características de intensidade, dicção, velocidade e *pitch*, as máquinas são ainda capazes de interagir com as emoções humanas (BRAVE e NASS, 2003).

A partir disso, inúmeras outras técnicas de interface homem-máquina foram desenvolvidas, sendo uma das mais recentes a realidade virtual, em que as máquinas combinam visualmente o ambiente real com o virtual tornando o sistema resultante interativo, em tempo real e em três dimensões (BONNET, DUCKER e KUBLAK, 2014).

A tecnologia de interface homem-máquina vem evoluindo com o desenvolvimento de computadores cada vez mais potentes e rápidos, e migra para um futuro abrangendo os diferentes aspectos do ambiente em que o homem está inserido (ROGERS, 2009).

Essa evolução pode ser fundamentada pela estrutura de três níveis apresentada por Eason (1991), ilustrada na Figura 12, que define a abrangência da tecnologia de interface homem-máquina.

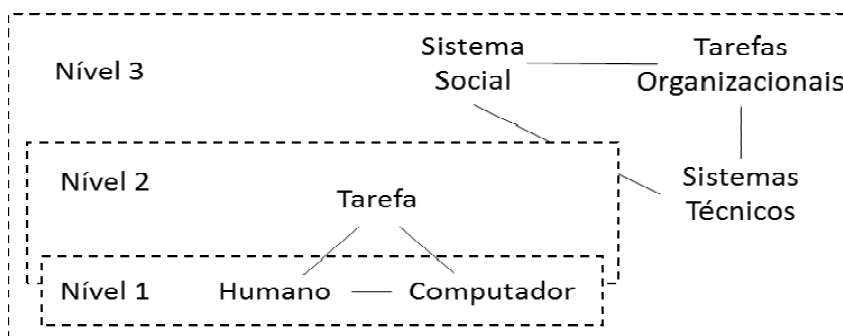


Figura 12 – Níveis de uma interação entre homem e máquina  
(adaptado de Eason, 1991)

Nível 1: considera interações entre humanos e computadores como uma forma de comunicação direta entre dois elementos capazes de processar informações.

Nível 2: além das características do nível 1, incorpora a capacidade de identificar a tarefa executada e assistir os humanos para melhorar o desempenho dessa tarefa.

Nível 3: incorporam às características do nível 2, a análise de fatores sociais, técnicos e organizacionais dos humanos, adequando suas técnicas de interação para que a comunicação seja eficaz e assertiva.

Para suportar as técnicas de interface homem-máquina, a tecnologia de fusão de sensores, juntamente com a tecnologia de inteligência artificial, combinam informações e decisões para permitir às máquinas responder de forma inteligente, com reações mais próximas a dos seres humanos (CANNAN e HUOSHENG, 2010).

Ainda, a tecnologia de interação entre homem e máquina deve utilizar a inteligência artificial para processar os dados dos elementos ao seu redor e decidir por determinadas ações como se fosse um humano interagindo com esse ambiente, indistinguivelmente (ESCH, 2010).

#### **2.2.2.8 TECNOLOGIA DE RECONHECIMENTO DE PLANO E INTENÇÃO (RI)**

A tecnologia de reconhecimento de plano e intenção deve inferir as intenções dos agentes analisados a partir das ações observadas que foram por esses executadas (ARMENTANO e AMANDI, 2007). Esse conceito pode ser melhor entendido como um caso específico de um problema genérico de abdução, ou seja, entendido como “se A causa B e observamos B, então postula-se A como explicação” (CHARNIAK e MCDERMOTT, 1985). Dessa forma, entende-se que “se um agente de plano P executa uma sequência de ações S e observamos S, então define-se que esse agente executa um plano P” (SUKTHANKAR *et al.*, 2014).

Para isso, a tecnologia de reconhecimento de plano e intenção opera buscando um padrão de comportamento que coincida com um modelo conhecido. Assim, o sistema de observação coleta informações por meio dos diversos sensores existentes no ambiente, executa as análises necessárias utilizando técnicas de inteligência artificial e, então, prediz a intenção de ação do agente, ou seu plano objetivo (DEMIRIS, 2007).

A partir do papel do agente observado no processo de reconhecimento, essa tecnologia pode ser classificada em três níveis (KANNO, NAKATA e FURUTA, 2003):

1. Reconhecimento intencionado: é a avaliação em que o agente o qual o plano deve ser inferido está ciente e coopera ativamente no processo de reconhecimento do seu plano (como perguntas sobre suas intenções, discussões de seus planos, decomposição assistida das possibilidades de seus propósitos). O reconhecimento intencionado possui o menor nível de abstração, pois depende das respostas do agente observado para definir sua intenção (DEMIRIS, 2007).
2. Reconhecimento espreitado (*keyhole*): é a avaliação em que o agente o qual o plano deve ser inferido não está consciente, ou está indiferente, do processo de reconhecimento de seu plano.
3. Reconhecimento obstruído: é a avaliação em que o agente o qual o plano deve ser inferido está ciente, porém dificulta ativamente o processo de reconhecimento do seu plano escondendo suas intenções (como ironias, mentiras, entre outros).

Cada um dos níveis da tecnologia de reconhecimento de plano e intenção necessita de um método específico para coleta das informações, observação do comportamento e processamento dos dados, para com isso, poder definir a intenção da ação com um menor erro (ARMENTANO e AMANDI, 2007).

Com isso, para se reconhecer os planos e intenções dos agentes, muitas técnicas de inteligência artificial foram desenvolvidas, citam-se entre as principais: as análises probabilísticas (CHARNIAK e SHIMONY, 1994), os métodos de inferência Bayesiana (CHARNIAK e GOLDMAN, 1993), as análises sintáticas de estrutura (léxica e semântica) (VILAIN, 1990) e os modelos ocultos de Markov (BUI, VENKATESH e WEST, 2002). Dessa forma, entende-se que a inteligência artificial é uma tecnologia essencial para o reconhecimento de plano e intenção de agentes humanos e cibernéticos (WANG, 2012).

Também, a tecnologia de reconhecimento de padrões suporta o reconhecimento de plano e intenção com uma avaliação inicial dos agentes analisados em busca de padrões de comportamento já conhecidos, processo

denominado de reconhecimento de atividade (SUKTHANKAR *et al.*, 2014). O reconhecimento de padrões de comportamento dos agentes quando buscam o mesmo objetivo determinam suas preferências de intenção, que por sua vez, permitem o reconhecimento de seus planos mais assertivamente (ARMENTANO e AMANDI, 2007).

#### **2.2.2.9 TECNOLOGIA DE MODELAMENTO HUMANO E DO USUÁRIO (MH)**

Apesar da automação executar muitas funções humanas em diversos sistemas, ainda há algumas operações que as máquinas não são capazes de realizar devido às características específicas dos seres humanos não estarem implicitamente consideradas no projeto do conjunto homem-sistema (OKUDA *et al.*, 2007). Baseado nisso, uma singular arquitetura de interação entre homem e máquina, denominada de tecnologia de modelamento humano, deve ser incorporada às máquinas automáticas, fazendo com que essas possam melhor controlar o ambiente por meio dos seus dispositivos, agindo de forma semelhante a um humano frente ao mesmo problema (PANTIC *et al.*, 2007).

Essa tecnologia deve descrever formalmente as interações entre homem e máquina possibilitando uma simulação genérica em que deve-se observar a dinâmica dos argumentos, os erros humanos, as falhas dos componentes, o ambiente em mudança, os efeitos culturais, entre outros (CACCIABUE, 1998). Assim, um sistema automático de interação homem-máquina deve ser projetado como a combinação do comportamento dos humanos e das máquinas, para que a mútua influência entre esses possa tornar o sistema mais próximo das respostas humanas (ROUSE, 1983).

Dessa forma, o objetivo principal da tecnologia de modelamento humano é habilitar as máquinas a transformar os dados coletados do ambiente em sabedoria por meio de modelos cognitivos do pensamento humano (THOMSON, LEBIERE e BENNATI, 2014).

Assim, com base na capacidade que a máquina tem de substituir o homem, a tecnologia de modelamento humano pode ser dividida em dez níveis de ação (PARASURAMAN, SHERIDAN e WICKENS, 2000). Esses níveis são apresentados na Figura 13.

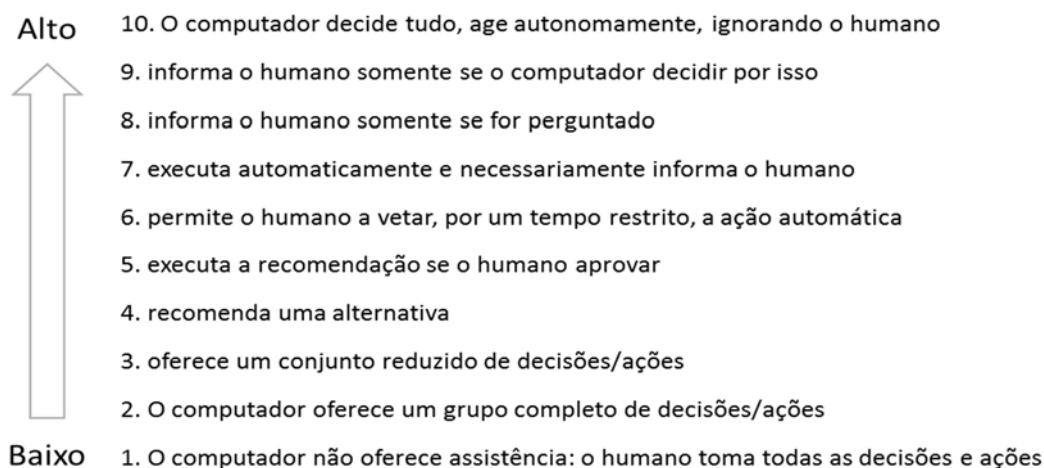


Figura 13 – Níveis da tecnologia de modelamento humano

(traduzido de Parasuraman, Sheridan e Wickens, 2000)

Para isso, muitas técnicas computacionais de inteligência artificial foram desenvolvidas para modelar desde simples ações até atividades humanas complexas, utilizando abordagens paramétricas e não-paramétricas, volumétricas, gráficas, sintáticas e ontológicas (TURAGA *et al.*, 2008). As arquiteturas cognitivas do modelamento humano tentam replicar a inteligência humana por meio de técnicas de inteligência artificial aplicadas em computadores com processamento de informações cada vez maiores e mais rápidos (CASSIMATIS, 2012).

Já a tecnologia de interface homem-máquina assegura a melhor aquisição das informações dos usuários, independente dos meios, para que uma máquina possa efetivamente interagir e/ou até substituir os seres humanos (TURAGA *et al.*, 2008). A tecnologia de interface homem-computador, usando técnicas que facilitam a comunicação e colaboração entre ambos, torna o modelamento virtual do usuário mais simples (FISCHER, 2001).

Também, a tecnologia de modelamento humano deve ser capaz de reconhecer uma situação em tempo real, para poder responder com decisões, da mesma forma que os humanos entendem o contexto que estão inseridos (PALETTA *et al.*, 2017). Adicionalmente, a tecnologia de reconhecimento de situações permite ao modelamento humano entender as ações do usuário, ainda



que esse não interaja continuamente com a máquina (BOWDEN e RUSNOCK, 2015).

### **2.2.2.10 TECNOLOGIA DE APRENDIZADO DA MÁQUINA (AP)**

O aprendizado de máquinas é uma tecnologia que auferir às máquinas a habilidade de aprender sem ser explicitamente programada para determinada finalidade (SAMUEL, 1959). Dessa forma, uma máquina pode aprender com uma experiência E a partir de tarefas T se seu desempenho P sobre as tarefas T melhorar com a experiência E (MITCHELL, 1997).

Assim, o aprendizado de máquina é uma tecnologia mais relacionada à capacidade da máquina melhorar automaticamente o desempenho do processo que controla, do que apenas aumentar o conhecimento desse processo pela análise de informações (WITTEN *et al.*, 2017).

Essa tecnologia tem como principais aplicações a extração e classificação de dados, transformando-os em informações (SOMVANSHI *et al.*, 2016), e suporte à tomada de decisão, provendo recomendações de decisão ao usuário (MERKERT, MUELLER e HUBL, 2015).

A extração e classificação dos dados (*data mining*) é o processo de analisar os dados disponíveis para descobrir padrões existentes que possam ser significativos na aprendizagem de alguma característica desses dados primários (WITTEN *et al.*, 2017). A extração de dados é utilizada para encontrar informações a partir de uma grande quantidade de dados sobre o objeto que se deseja obter conhecimento (SHARMA *et al.*, 2014).

O suporte à tomada de decisão é um processo que utiliza métodos adaptativos de aprendizado e evolução para acomodar as incertezas dos dados analisados de forma que possa suportar pessoas que são solicitadas a resolver problemas de decisão complexos (KASIE, BRIGHT e WALKER, 2017). Um sistema de suporte à decisão tem como principais características: ser especificamente designado para facilitar os processos decisórios, oferecer suporte à decisão ao invés de decidir automaticamente e ser capaz de responder rapidamente às alterações de necessidade dos tomadores de decisão (POWER, 2002).

Com isso, a tecnologia de aprendizado da máquina pode ser classificada em três categorias por ordem de capacidade de extração de informações e suporte à decisões (SOMVANSHI *et al.*, 2016):

1. Aprendizado supervisionado: processo de aprendizado do sistema em que uma amostra dos dados de entrada correlacionados com os dados de saída é fornecida, a partir da qual a máquina treina seu comportamento esperado.
2. Aprendizado não-supervisionado: processo de aprendizado do sistema em que uma amostra somente dos dados de entrada é fornecida, a partir da qual a máquina deve encontrar automaticamente similaridades/dissimilaridades dos atributos dessas entradas (*clustering*) ou um meio para atingir seu objetivo.
3. Aprendizado por reforço: processo de aprendizado inspirado na psicologia comportamentalista, onde não há fornecimento de entradas ou saídas conhecidas, em que a máquina toma ações no ambiente na busca de maximizar uma noção de recompensa recebida por meio da resposta do ambiente referente à ação tomada.

O aprendizado de máquina supervisionado é mais utilizado para a classificação e estimação de dados, o não-supervisionado para definição de similaridades e predição de informações, e o aprendizado por reforço para o suporte à tomada de decisão (QIU *et al.*, 2016).

Para executar as funções da tecnologia de aprendizado da máquina, muitas técnicas de inteligência artificial foram desenvolvidas, citam-se entre as principais: as redes Bayesianas, as redes neurais artificiais, as árvores de decisão (KOTSIANTIS, 2007), os algoritmos *k-Nearest Neighbor*, as regressões logísticas, os métodos *Randon Forest* e as máquinas de vetores de suporte (SINGH, THAKUR e SHARMA, 2016). Assim, a tecnologia de aprendizado da máquina está fundamentada nas técnicas de inteligência artificial (MICHALSKI, CARBONELL e MITCHELL, 2013).

Também, a tecnologia de aprendizado de máquina é suportada pelas técnicas de reconhecimento de padrões, pois promove a generalização do resultado mesmo com uma variabilidade dos vetores de dados de entrada, como

os humanos providos de inteligência e capazes de reconhecer coisas e suas variantes (BISHOP, 2006). A tecnologia de aprendizado da máquina, quando executa avaliações em tempo real, necessita de técnicas para detecção e correlação de padrões para assegurar velocidade em suas operações (INIBHUNU e MCGREGOR, 2016).

#### **2.2.2.11 TECNOLOGIA DE AUTO-ORGANIZAÇÃO NA MANUFATURA (OM)**

A tecnologia de auto-organização na manufatura apresenta a ideia que os sistemas de manufatura podem operar como uma comunidade de entidades cooperativas automáticas, onde cada uma representa uma operação ou máquina (LEITÃO, 2008). Assim, entende-se que a auto-organização na manufatura é a habilidade de uma entidade/sistema adaptar dinamicamente seu comportamento para atender novas condições, sem intervenções externas (BOUSBIA e TRENTESAUX, 2002)

Essa tecnologia opera da mesma forma que enxames, pois um indivíduo não realiza todas as tarefas, mas apenas as de sua especialidade, enquanto os demais indivíduos realizam outras tarefas sequencial e simultaneamente (BONABEAU, DORIGO e THERAULAZ, 1999). Esse tipo de operação permite uma grande flexibilidade aos sistemas de manufatura, porém esses sistemas também devem ser robustos, e para isso as máquinas devem ter capacidade redundantes, pois quando uma máquina falha inesperadamente, o sistema desvia sua execução do plano inicial redirecionando o fluxo de produção para outras máquinas com capacidade similar (BUSSMANN e SCHILD, 2002).

Os sistemas de manufatura flexível e robusta, em que a tecnologia de auto-organização na manufatura controla descentralizadamente os diferentes padrões de produção nas máquinas inteligentes por meio de uma infra-estrutura distribuída, são denominados Sistemas de Manufatura Reconfiguráveis (*Reconfigurable Manufacturing Systems – RMS*) (KOREN *et al.*, 1999). Os RMS são qualificados pela sua modularidade, flexibilidade, escalabilidade e capacidade de fácil conversão, integração e diagnóstico, as quais são proporcionadas pela tecnologia de auto-organização na manufatura (AZAIEZ *et al.*, 2016).

Assim, a tecnologia de auto-organização na manufatura, que permite a operação dos RMS, pode ser caracterizada conforme sua flexibilidade de adaptação em dez tipos (MALHOTRA, RAJ e ARORA, 2010):

1. Flexibilidade da máquina: equipamento pode executar várias operações sem troca de ferramentas ou *set-up*.
2. Flexibilidade no manuseio do material: materiais podem seguir rotas alternativas entre as máquinas de operação.
3. Flexibilidade na operação: processos de produção permitem a fabricação dos produtos em equipamentos alternativos.
4. Flexibilidade no processo: processos e equipamentos de produção permitem fabricação alternativa sem grandes alterações ou *set-up*.
5. Flexibilidade no produto: processos e equipamentos que permitem a introdução de novos produtos sem grandes alterações.
6. Flexibilidade no roteiro: logística permite rotas alternativas viáveis para os materiais entre os processos de produção.
7. Flexibilidade no volume: produção pode absorver as variações de produção dentro da capacidade de operação, com lucro.
8. Flexibilidade na expansão: produção permite o aumento da capacidade, quando necessário, sem grandes alterações nos sistemas produtivos.
9. Flexibilidade no programa de controle: sistema permite análises virtuais da produção sem interromper a operação de fabricação.
10. Flexibilidade na produção: manufatura permite a produção de produtos novos ou alternativos sem grandes investimentos.

Para que a tecnologia de auto-organização na manufatura possa operar com essa flexibilidade de adaptação da produção, as técnicas de inteligência artificial são essenciais nas aplicações de gerenciamento dos processos de montagem, otimização de leiaute, administração do programação de produção, controle das operações e gestão dos materiais na cadeia de suprimentos (LEITÃO, BARBOSA e TRENTESAUX, 2012). A tecnologia de inteligência artificial permite que os sistemas auto-organizáveis possam adequar seu comportamento por meio da interação e cooperação de diversos agentes mais

simples para alcançar um objetivo comum (MADUREIRA, PEREIRA e SOUSA, 2012).

Ainda, a tecnologia de avaliação da situação por multi-critérios possibilita aos sistemas auto-organizáveis na manufatura que reconheçam uma situação anômala de forma abrangente, incluindo as especificidades de cada processo, para que possam adaptar seus serviços de acordo com as necessidades do objetivo original (GHNEMAT, BERTELLE e DUCHAMP, 2010).

#### **2.2.2.12 TECNOLOGIA DE REDES DE COMUNICAÇÃO AUTO-ORGANIZÁVEIS (CO)**

A tecnologia de redes de comunicação auto-organizáveis permite que a comunicação entre os agentes do sistema se adapte às alterações do ambiente, sem nenhum controle externo ou central (PREHOFER e BETTSTETTER, 2005). Sua função é de coordenar os dispositivos de comunicação para assegurar uma operação livre de conflitos, estável e de alto desempenho (TALL *et al.*, 2014).

Para isso, as redes de comunicação auto-organizáveis são formadas por um conjunto de funções automáticas que diagnosticam, solucionam, configuram e otimizam os problemas existentes nas redes de comunicação (OSTERBO e GRONDALEN, 2012). Essas funções avaliam continuamente o desempenho da rede de comunicação e, quando necessário, adaptam a propagação dos sinais e condições de tráfego de dados para possibilitar a melhor transferência de informações com os recursos disponíveis (JANSEN *et al.*, 2009).

Essa tecnologia é utilizada para a auto-organização de diversos tipos de redes de comunicação, como as *Wireless Mobile Ad hoc Network* (MANET), *Wireless Sensor Network* (WSN), *Wireless Mesh Network* (WMN), *Vehicular Ad hoc Network* (VANET) (PATHAN, 2011).

Independentemente do tipo de rede utilizada, a tecnologia de redes de comunicação auto-organizáveis pode ser classificada pela capacidade de adaptação de sua arquitetura (DRESSLER, 2006):

1. Redes globais: são redes de roteamento fixo, coordenadas por um controlador central que atualiza as informações em ciclos periódicos de acordo com seu algoritmo de funcionamento.
2. Redes de área local: são redes de roteamento fixo, onde controladores distribuídos localmente coordenam o fluxo de dados e o compartilhamento dos recursos e informações.
3. Redes de nós vizinhos: são redes de roteamento adaptáveis com controladores descentralizados em cada nó, que escalona ciclicamente a transmissão de informações relevantes aos seus vizinhos do mesmo sistema para o momento que os outros nós operam como receptores.
4. Redes por algoritmos probabilísticos: são redes com roteamento adaptável e controladores descentralizados em cada nó, onde o algoritmo da rede lança sinais na direção de nós escolhidos aleatoriamente para encontrar o caminho mais curto entre origem e destino, adequando o novo roteamento.
5. Redes bio-inspiradas: são redes com roteamento adaptável onde os nós operam como um enxame colaborativo, aprendendo e evoluindo, para assegurar a comunicação, mesmo com recursos limitados e alterações no ambiente.

Para suportar essa capacidade de adaptação das redes de comunicação auto-organizáveis, a tecnologia de aprendizado da máquina é fundamental, pois permite que a rede possa aprender e melhorar seu desempenho baseado nas ações prévias tomadas pelo sistema (KLAINÉ *et al.*, 2017). As técnicas de aprendizado da máquina, como a extração dados, suportam as redes de comunicação auto-organizáveis com a seleção de informações relevantes para serem distribuídas, evitando um fluxo intenso de sinais desnecessários (SEMOV *et al.*, 2017).

Também, a tecnologia de inteligência artificial pode melhorar o desempenho das redes de comunicação por meio da alteração do roteiro na distribuição dos dados (BARBANCHO *et al.*, 2006). Dessa forma, a tecnologia de inteligência artificial apoia as redes de comunicação auto-organizáveis com a

capacidade de avaliar e determinar um roteiro otimizado para o fluxo dos dados (ZHANG *et al.*, 2013).

#### **2.2.2.13 TECNOLOGIA BÁSICA DE MODELOS DE DOMÍNIO (MD)**

Um modelo de domínio é uma estrutura das relações, comportamentos e hierarquias das diversas tecnologias empregadas para controle de objetos face a determinados objetivos (FOWLER, 2003).

Como os CPS são formados a partir de tecnologias heterogêneas, que cooperam em operações concorrentes na execução de cada função característica (DERLER, LEE e VINCENELLI, 2012), há a necessidade de um modelo de domínio definido, onde as devidas tecnologias são organizadas para colaborar entre si de forma ordenada e hierarquizada (LEE, BAGHERI e KAO, 2014).

Uma vez que os CPS têm potencial para ser aplicado diversas áreas da sociedade e da indústria, há um enorme desafio em se encontrar um modelo de domínio que atenda a todas as necessidades e desafios de forma aberta e acessível aos demais sistemas (BROY, CENGARLE e GEISBERGER, 2012).

Apesar das diversas normas e trabalhos científicos com propostas de modelos de domínio dos CPS, a definição ampla e abrangente de uma arquitetura ou estrutura de funcionamento, que integre todas suas tecnologias colaborativamente, ainda é um desafio (SANISLAV *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2017).

Porém, um modelo de domínio estruturado adequadamente como uma tecnologia básica, suportando as demais tecnologias dos CPS, pode auxiliar as habilidades de reconhecimento físico, previsão e planejamento de ações, cooperação e negociação, e aprendizado (GEISBERGER e BROY, 2014).

#### **2.2.2.14 TECNOLOGIA BÁSICA DE SENSORES E ATUADORES (SA)**

Os sensores e atuadores permitem aos CPS obter informações e influenciar o ambiente físico em que estão inseridos. Os sensores obtêm as medidas quantitativas e qualitativas do ambiente transformando essas informações em sinais elétricos com formato adequado ao controlador. Já os

atuadores, convertem os sinais elétricos provenientes dos controladores em ações físicas que afetam o comportamento do ambiente (GUNES *et al.*, 2014). São os sensores e atuadores que auferem aos CPS a capacidade de espelhar os mundos físico e cibernético (MARIAPPAN, REDDY e WU, 2015).

Esses sensores e atuadores podem operar individualmente, com conexão direta ao controlador, ou em redes, geograficamente distribuídos com compartilhamento de informações entre o sistema de controladores, conhecidos como WSAAN (*wireless sensor and actuator networks*) (XIA, KONG e XU, 2011). A Figura 14 ilustra as operações dos sensores e atuadores em um CPS.

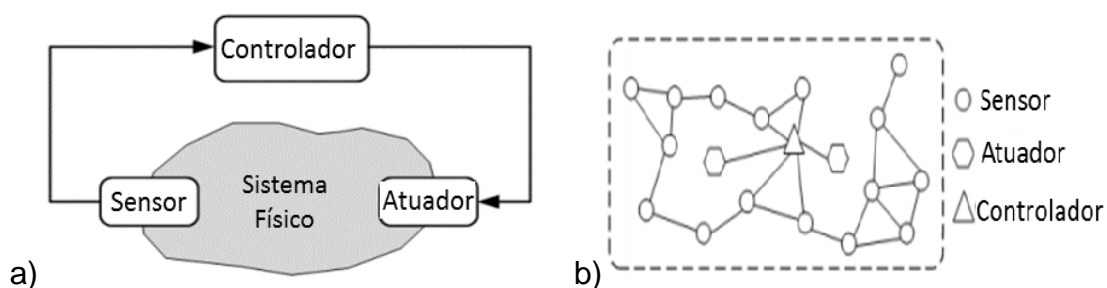


Figura 14 – Sensores e atuadores em um CPS: (a) conexão individual, (b) conexão em rede

(traduzido de Xia, Kong e Xu, 2011)

As WSAAN são também entendidas como a fronteira dos CPS, porém mesmo com o sucesso no monitoramento e atuação nas aplicações de automação dos sistemas industriais, para os CPS, essa tecnologia ainda apresenta alguns desafios quanto ao desempenho de suas funções em tempo real e às adaptações dinâmicas nas variações de condição ambiental (LU *et al.*, 2016).

Assim, a criação ou seleção de sensores e atuadores para os CPS, que atendam os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade frente às leis de otimização dos sistemas físicos, não é uma tarefa simples, pois a ação do sensor/atuador no ambiente é o resultado da combinação da dinâmica de seu funcionamento com o desempenho do algoritmo de controle (LEE e SESHIA, 2015; TAHA *et al.*, 2017).



Mas, apesar desses desafios ainda existentes, ocorreram grandes avanços na tecnologia básica dos sensores e atuadores permitindo a operação dos CPS. O contínuo aperfeiçoamento dessa tecnologia possibilitou também o desenvolvimento das habilidades CPS a qual são fundamentais, como o reconhecimento físico, a previsão e planejamento das ações e a interação homem-máquina (GEISBERGER e BROY, 2014).

#### **2.2.2.15 TECNOLOGIA BÁSICA DE PLATAFORMAS DE COMUNICAÇÃO (PC)**

Nos CPS, a plataforma de comunicação é a tecnologia responsável por gerenciar a transferência de grandes volumes de dados, em tempo real, a diferentes controladores, sensores e atuadores dispersos geograficamente (SAMANT, AGRAWAL e BEHERA, 2015). Essa tecnologia é encarregada pela troca de informações entre o domínio físico, formado por sensores e atuadores (WSAN), e o domínio cibernético, onde os controladores asseguram o gerenciamento do sistema, sendo assim um dos elementos essenciais para o funcionamento dos CPS (ELATTAR, WENDT e JASPERNEITE, 2016).

Para executar suas funções, as plataformas de comunicação dos CPS devem possuir cobertura ampla e ubíqua, que permita comunicação dos elementos de seus sistemas em qualquer lugar e a qualquer momento (MÖLLER, 2016). Entre as principais técnicas que permitem essa abrangência estão as *Personal Area Networks* (PAN) (IEEE802.15), como *Bluetooth* e *Zigbee*, as *Local Area Networks* (LAN) (IEEE802.11 e IEEE802.3), como WiFi e Ethernet, e as *Wide Area Networks* (WAN) (IEEE802.20 e IEEE802.16), como o 3G, 4G, 5G e Wimax (GEISBERGER e BROY, 2014).

Essas plataformas de comunicação devem ainda ser interoperáveis para assegurar a coexistência e colaboração dos elementos de diferentes tecnologias e protocolos de troca de informação, ou seja, devem ter capacidade de se comunicar de forma transparente independente de sua ontologia (MOIS *et al.*, 2015). As normas mais utilizadas em CPS para reger a arquitetura das plataformas de comunicação interoperáveis são a IEC 62443 *Industrial Communication Networks System Security*, a IEC 62541 *Open Connectivity*

*Unified Architecture* e a IEEE 1722-2016 *Time Sensitive Networks* (WATSON *et al.*, 2017).

As plataformas de comunicação dos CPS também exigem requisitos associados à administração da fila de dados, segurança, confiabilidade, robustez, elevada qualidade de serviço, transmissões em tempo real (MOLINA e JACOB, 2017) e habilidade de *plug-and-produce*, reconhecendo a presença de um novo elemento e se reconfigurando para integrar esse componente (JATZKOWSKI e KLEINJOHANN, 2014).

Para isso, uma plataforma de comunicação que suporte os CPS precisa atender às propriedades de uma arquitetura orientada a serviços, ter protocolos de comunicação abertos, auto-gerenciar os recursos quando escassos e administrar o consumo de energia (XIA *et al.*, 2008).

Ainda, uma plataforma de comunicação para utilização em CPS deve ser projetada para monitorar constantemente a qualidade de suas conexões e fazer ajustes no caso de alterações na arquitetura do sistema ou na prioridade de algum elemento, suportando a tecnologia de redes de comunicação auto-organizáveis (GEISBERGER e BROY, 2014).

#### **2.2.2.16 TECNOLOGIA BÁSICA DE PROCESSADORES PARALELOS (PP)**

O processamento paralelo é uma técnica de processamento digitais de sinais (*Digital Signal Processing – DSP*) que multiplica as unidades computacionais para tratar diferentes informações simultaneamente, o que resulta em uma velocidade de processamento maior comparado a outras técnicas de DSP (PARHI, 1999). Essa técnica realiza vários cálculos computacionais ao mesmo tempo, de forma concorrente em seus multi-núcleos, para superar as limitações físicas que impedem o aumento da frequência de processamento (ASANOVIC *et al.*, 2006).

Nos CPS, as tecnologias de fusão de sensores e inteligência artificial, e as demais que usam técnicas baseadas nessas, necessitam operar em tempo real, o que impõe um desafio temporal ao processamento cibernético. Para superar isso, os algoritmos dos CPS devem permitir operações em paralelo por processadores multi-núcleo (KIM *et al.*, 2013).

Fundamentado nisso, a norma IEC 61131 pode se apresentar como base para os algoritmos CPS, permitindo a concorrência do processamento das informações nos processadores multi-núcleo por meio da sincronização das operações e atrasos característicos (CANEDO e AL-FARUQUE, 2012).

#### **2.2.2.17 TECNOLOGIA BÁSICA DE CONTROLADORES DISTRIBUÍDOS (CD)**

As técnicas de automação proporcionaram o controle local de cada sistema individual, porém com os CPS, os controladores dos sistemas individuais necessitam ser conectados em uma ampla rede para funcionarem como um único e abrangente sistema dinâmico em que seus sub-sistemas cooperam entre si para alcançar um objetivo comum (DAMM *et al.*, 2010).

Com isso, a tecnologia de controladores distribuídos compreende as estruturas e hierarquias das redes de controladores formadas por elementos cibernéticos singulares de processamento de sinais e informações que estão geograficamente dispersos (GEISBERGER e BROY, 2014).

A partir da singularidade de cada controlador conectado na rede, é possível entender que para a mesma função, esses controladores podem ter inúmeras formas de tomar decisões de gerenciamento dos sistemas (XIN *et al.*, 2016). Com isso, os grandes desafios dos controles distribuídos são as variadas estruturas, hierarquias e semânticas, tanto dos *softwares* quanto dos *hardwares* de seus muitos elementos interconectados, que culminam em diferentes tempos de processamento das informações, dificultando uma resposta em tempo real dos controladores para coordenar os eventos físicos dinâmicos (MCMILLIN *et al.*, 2007).

Para tratar esses desafios temporais, é necessário incluir no modelo computacional dos controladores uma semântica fundamentada em eventos discretos de tempo (DERLER *et al.*, 2008). Esses modelos computacionais, em que o *software* possui a mesma lógica e comportamento temporal quando executado por *hardwares* diferentes, são chamados de agnósticos (DROZDOV, PATIL e VYATKIN, 2017).

Para que os CPS possam operar com controle distribuído sem problemas temporais nas operações em tempo real, é recomendado que seus programas

sejam estruturados na forma de blocos de funções distribuídas, estabelecidos pela norma IEC 61499, pois proporcionam essa característica de agnosticismo, mesmo comportamento dos programas computacionais independente da arquitetura do sistema que são utilizados (VYATKIN, PANG e TRIPAKIS, 2016).

### 2.2.3 APLICAÇÕES DOS CPS

Os CPS são amplamente empregados em todos os setores da sociedade devido a sua flexibilidade e adaptabilidade em controlar qualquer sistema físico. A Figura 15 apresenta um mapa com áreas de possível aplicação dos CPS (CYBERPHYSICALSYSTEMS, 2019).

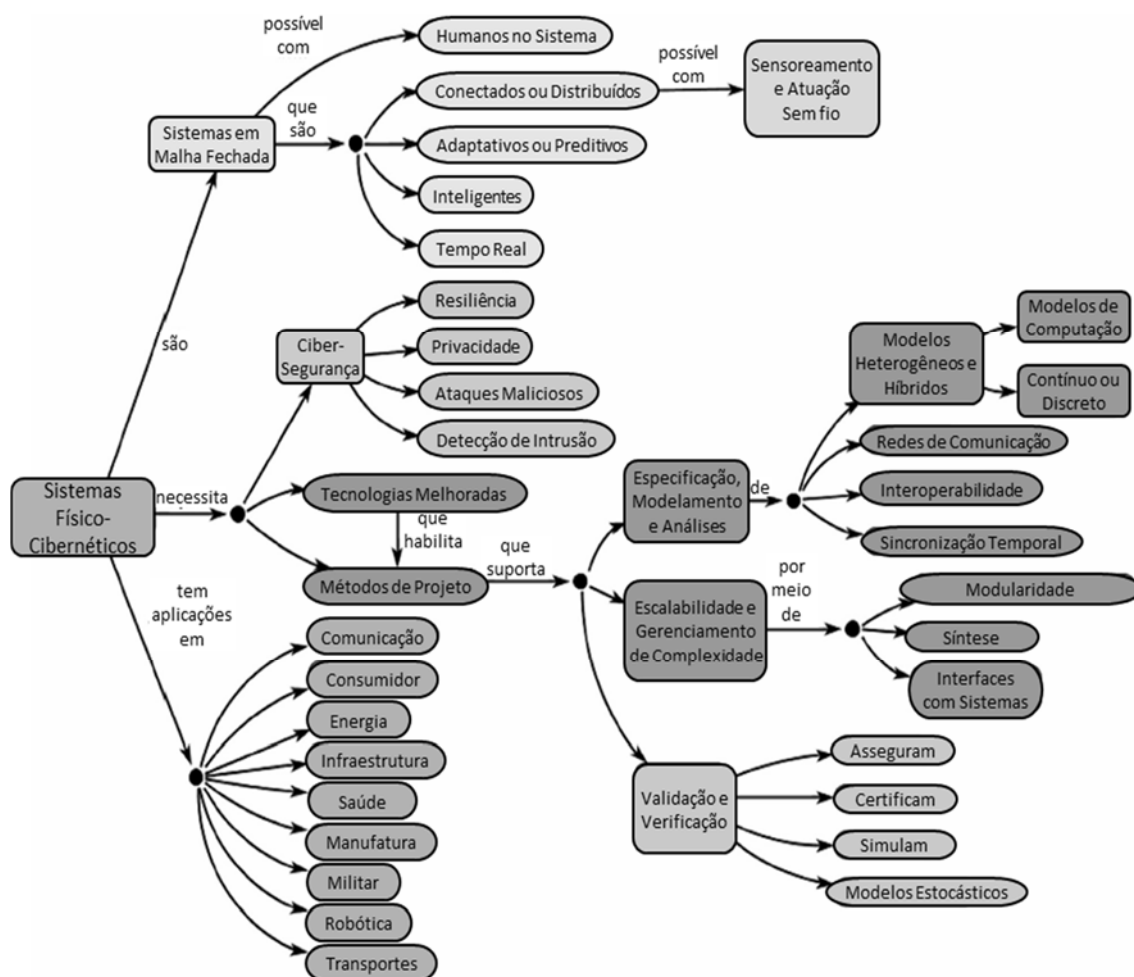


Figura 15 – Mapa de possíveis aplicações dos CPS  
(traduzido de CYBERPHYSICALSYSTEMS, 2019)

Lee (2008) apresenta que os CPS podem ser aplicados nos sistemas médicos e de saúde, assistência a vida, segurança e controle, sistemas automotivos avançados, controle de processos, controle ambiental, sistemas aviônicos, controle das infraestruturas industriais (elétrica, água, sistemas de proteção e comunicação, etc), sistemas robóticos distribuídos, sistemas de defesa, manufatura e distribuição de energia.

Sanislav e Miclea (2012) apresentam os domínios de aplicação dos CPS como sistemas automotivos, ambientais, aviônicos, defesa, saúde e infraestrutura crítica.

Para Gunes *et al.* (2014) os CPS podem ser aplicados nos sistemas de manufatura inteligente, resposta a emergências, transporte aéreo, infraestrutura industrial, medicina e saúde, transporte inteligente e robótica.

Somando-se aos domínios de aplicação expostos (sistemas de infraestrutura, energia, saúde, manufatura, robótica e transporte), Asare *et al.* (2015) ainda identificam aplicações dos CPS nos sistemas de comunicação, multimídia e militar.

Ahmad *et al.* (2016) explanam que uma Sociedade Cibernética Inteligente (*Smart Cyber Society*) pode ser almejada a partir do conceito de uma habitação inteligente com a aplicação dos CPS.

Para Jamaludin e Rohani (2018), os CPS suportam as principais áreas da sociedade: transporte, médica, energia, química, engenharia e financeira.

Analisando-se as aplicações dos CPS é possível observar a sua extensão tecnológica, as diversas áreas de emprego de suas habilidades e sua importância nos vários setores da sociedade.

Geisberger e Broy (2014) ainda esclarecem que a interconexão dos vários sistemas em que os CPS podem ser aplicados (mobilidade, saúde, governança, infraestrutura e indústrias) é denominada “cidade inteligente” e que suporta a sociedade pela utilização eficiente dos recursos. Essa interconexão formando as cidades inteligentes é apresentada na Figura 16.

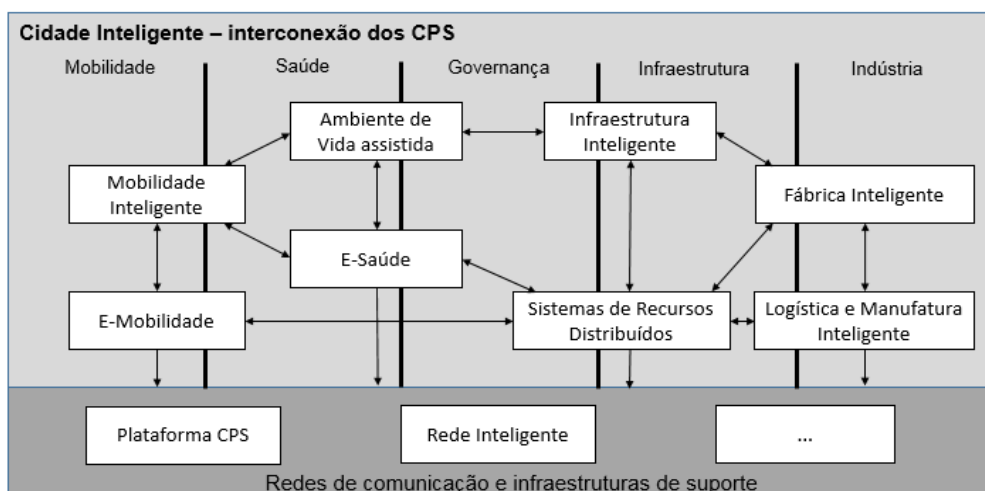


Figura 16 - Áreas de aplicações dos CPS e suas interconexões

(adaptado de Geisberger e Broy, 2014)

Törgren *et al.* (2014) também apontam que os setores automotivos, energia, saúde, produção e logística são áreas com oportunidades para se aplicar os CPS.

A aplicação dos CPS nas indústrias eleva os sistemas produtivos para os chamados Sistemas de Produção Físico-cibernéticos (*Cyber-physical Production Systems – CPPS*) (MONOSTORI, 2014), que são utilizados para gerenciar processos, tomar decisões e otimizar atividades com o intuito de flexibilizar a manufatura, assegurar maior qualidade, prever necessidades de manutenção, executar tarefas customizadas e aumentar a eficiência da produção e logística (PICARD e ANDERL, 2014).

Por sua vez, Zhang (2018) afirma que uma das principais aplicações dos CPS é a logística.

A logística é uma área vital para aplicação dos CPS, pois precisa de sincronização do fluxo dos materiais com as informações das atividades, além de ser uma função de alta complexidade e necessitar de adaptações frequentes em seus processos (MCDERMID, GUPTA e TÖRNGREN, 2014; PRASSE, NETTSTRAETER e HOMPEL, 2014).

A aplicação dos CPS nos processos logísticos é conhecida como Sistemas Logísticos Físico-Cibernéticos (*Cyber-physical Logistics Systems – CPLS*) (LAI *et al.*, 2014). Esses sistemas incorporam redes de comunicação

heterogêneas e dinâmicas, tecnologias de sensoriamento e computação distribuída, com processamento de informações em tempo real, para controlar e monitorar as informações e os recursos físicos logísticos (PUJO e PUNNAR, 2018).

Os CPLS permitem às operações industriais um aumento da flexibilidade na movimentação dos materiais, pois seus sistemas e equipamentos reduzem a dependência entre as diferentes atividades, isto é, adaptações necessárias em uma atividade não mais afetam o sistema como um todo (PRASSE, NETTSTRAETER e HOMPEL, 2014).

Ainda, os equipamentos logísticos com características CPS permitem uma produção inteligente, unindo os processos de manufatura físicos com os processos virtuais de operação, não somente habilitando uma customização dos produtos para especificações individuais e únicas, como também executando as atividades logísticas de forma sincronizada, permitindo um “tamanho de lote zero”, idealizado pela Indústria 4.0 (SCHÄTZ *et al.*, 2015).

Esses equipamentos com tecnologias CPS permitem também uma maior robustez e acurácia nas atividades logísticas e um incremento de eficiência e produtividade nessas operações por meio da identificação automática dos materiais com o controle em tempo real e das tecnologias de automação unidas às de comunicação (STRANDHAGEN *et al.*, 2016).

A partir dessas considerações, observa-se que a aplicação de equipamentos com características de CPS nos processos de logística permitem às empresas alcançar muitos dos benefícios propostos pela Indústria 4.0.

### **2.3 LOGÍSTICA**

A logística adiciona valor para o cliente, apresentando-se ainda como vantagem competitiva para as empresas, quando entrega produtos ou serviços, no lugar, no tempo, nas condições e no custo certo (LAMBERT, STOCK e VANTINE, 1998). Um produto não possui valor se não estiver no local e no tempo desejado, a um preço justo e com qualidade satisfatória, para seu consumo ou utilização (BALLOU, 2006).

A logística de uma empresa agrega o valor “lugar” e o valor “tempo” aos materiais, produtos e informações (POZO, 2001) e é considerada uma atividade primária dentro da cadeia de valor das empresas, pois gera vantagem competitiva, ou seja, apresenta um valor aos clientes referente a um produto/serviço que excede o custo de sua criação (PORTER, 1989).

Christopher (2007) explica que a correta gestão das atividades logísticas permite à empresa atingir vantagens em produtividade (menor custo da operação, inventário reduzido, eficácia da distribuição, entre outros) e vantagens em valor ao cliente (maior agilidade na entrega, informações acuradas sobre os pedidos, entre outros), ou até mesmo a combinação das duas.

As atividades logísticas devem buscar a maximização do valor econômico dos produtos ou materiais, por meio de ferramentas e filosofias gerenciais (UELZE, 1974). Um processo logístico de excelência é de extrema importância para a competitividade da corporação, pois a logística é um dos maiores custos nas transações empresariais (RODRIGUES, BOWERSOX e CALANTONE, 2005).

Apesar da logística não receber a mesma atenção quando comparadas com outras partes da organização (GUPTA e DUTTA, 1994), muitos pesquisadores e empresários reconhecem o valor da logística na diferenciação das empresas e seu estabelecimento de vantagem competitiva sustentável no atendimento aos clientes com baixo custo pelo mesmo serviço (HARRINGTON, 1996). Em uma pesquisa realizada com empresas de manufatura, mais de 90% acreditam que o desempenho de seus processos logísticos é muito importante para atingir vantagens competitivas no mercado que atuam (HARRISON e NEW, 2002).

Assim, as empresas que aplicam adequadamente as competências logísticas usufruem de vantagens competitivas apresentando aos seus clientes um serviço superior (BOWERSOX e CLOSS, 2001).

Porém, devido a competição global acirrada entre as indústrias, a clientes cada vez mais exigentes, a materiais e produtos mais complexos e cadeias de suprimento cada vez mais extensas, os processos logísticos estão em constante evolução para atender as necessidades dos negócios da empresa. Desta forma,



novos conceitos e práticas de processos logísticos surgem constantemente, em uma evolução contínua, para atender com melhores estratégias a necessidade dos clientes, de forma rápida, visando a garantia de lucro a longo prazo (BOWERSOX e CLOSS, 2001).

### **2.3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A definição do conceito de logística possui pequenas variações de entendimento entre os autores da área.

Christopher (1997) entende a logística como o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatas) através da organização e seus canais de comercialização, de modo a poder maximizar a lucratividade presente e futura através do atendimento dos pedidos a um baixo custo.

Lambert, Stock e Vantine (1998) explicam a logística como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenagem eficiente e econômico de matérias-primas, materiais semi-acabados e produtos, bem como as informações a eles relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender as exigências dos clientes.

Dornier *et al.* (2000) explicam que a logística é a gestão de fluxos entre funções de negócio e atualmente engloba maior amplitude de fluxos que no passado. Tradicionalmente as companhias incluíam a simples entrada de matérias-primas. Hoje, no entanto, essa definição expandiu-se e inclui as formas de movimentações de produtos e informações.

Bowersox *et al.* (2014) definem a logística a partir de sua responsabilidade, que é projetar e administrar sistemas para controlar o transporte e a localização geográfica dos estoques de matéria-prima, de produtos em processo e acabados pelo menor custo total.

Para o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2017), a logística é definida como o processo de planejamento, implementação e controle para um, eficiente e eficaz, transporte e armazenamento de produtos, incluindo serviços e informações relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender os requisitos do cliente. Esta definição inclui as movimentações para fornecimento, distribuição, internas e externas.

Para Ballou (2006), a logística trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de prover níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável.

A logística pode ser dividida em algumas funções ou canais de atividades correlatas.

Ballou (2006) apresenta a logística dividida em dois canais: suprimento físico e distribuição física. O canal de suprimento físico estende-se desde os fornecedores até o ponto de processamento do material, incluindo a logística interna. O canal de distribuição física engloba as atividades logísticas desde o produto acabado no ponto de processamento até o cliente final.

Para Bowersox e Closs (2001), a logística pode ser dividida em três áreas: suprimento, apoio à manufatura e distribuição. A área de suprimento está relacionada com as atividades de compra dos materiais em quantidades necessárias e tempo hábil, ao menor custo total, e da organização da movimentação entre os fornecedores e a fábrica. A área de apoio à manufatura tem como atividades principais o gerenciamento dos materiais a medida que fluem pelos processos de fabricação. A área de distribuição tem responsabilidade por transportar os produtos acabados para os clientes ao menor custo total, além do processamento dos pedidos. A Figura 17 ilustra essas áreas logísticas.

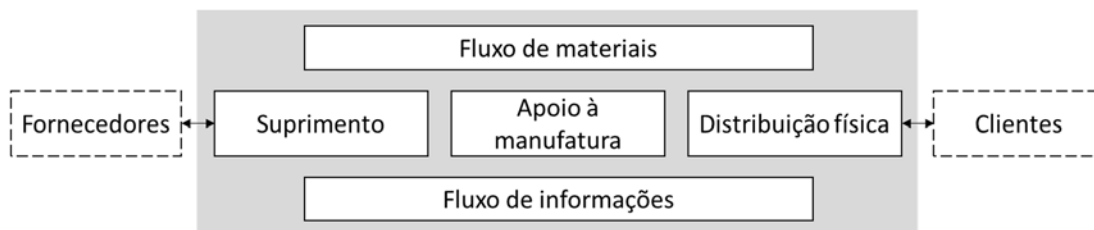


Figura 17 – Áreas da logística

(Bowersox e Closs, 2001)

Novaes (2007) e Pires (2012) desdobram a função logística em logística de abastecimento (fornecimento de matérias-primas – *inbound*), logística de distribuição (fornecimento de produtos – *outbound*) e os nós de comunicação entre eles (fornecimento de materiais aos pontos de processamento de produtos). A Figura 18 apresenta o desdobramento da função logística na visão desses autores.

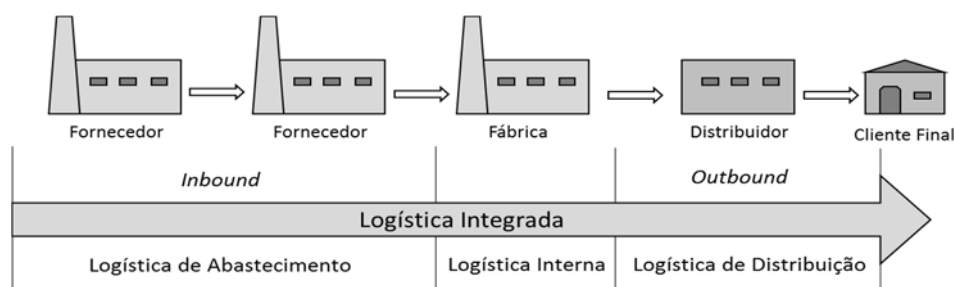


Figura 18 – Desdobramento da função logística

(Pires, 2012)

Com isso, é possível observar que nas operações logísticas das empresas há a existência de um processo central, entre os fornecedores e os clientes, que se estende desde o recebimento dos materiais até a expedição dos produtos, intrínseco às atividades da fábrica. Essas operações, denominadas de logística interna, também são conhecidas por logística de produção (BOWERSOX e CLOSS, 2001), manuseio de materiais (*material handling*), intralogística (KARTNIG, GRÖSEL e ZNIC, 2012) ou *in-plant/in-house logistics* (LEWANDOWSKI *et al.*, 2013).

### 2.3.2 LOGÍSTICA INTERNA

As atividades da logística interna correspondem a uma importante porção dos custos de manufatura (ASEF-VAZIRI e LAPORTE, 2005). Para Groover (2004) a logística interna pode representar de 20% a 25% dos custos da manufatura. Tompkins *et al.* (2010) explicam que os processos logísticos internos compreendem 25% da quantidade de empregados da empresa, 55% do espaço da fábrica e entre 15% a 70% do custo total de um produto manufaturado.

Uma operação de logística interna eficiente pode reduzir os custos da manufatura (SUJONO e LASHKARI, 2007). Wu (2002) afirma que qualquer melhora dos processos logísticos internos é transformada em substancial redução no custo total da manufatura e aumento no nível de produtividade.

Apesar da logística interna ser de grande importância para o desempenho de toda a empresa, suas atividades ainda não são plenamente reconhecidas (KIHLEN, 2007). Porém, os processos logísticos internos são vitais para as organizações, pois são responsáveis por prover suprimentos (matéria-prima e componentes) para as unidades de manufatura da indústria (GRANLUND, 2011).

A logística interna tem como principal objetivo estabelecer e manter um fluxo ordenado de materiais e estoque em processo para cumprir a programação de produção (BOWERSOX e CLOSS, 2001). Uma interrupção do fluxo dos materiais na fábrica resulta em altos custos de parada de produção, que justifica a necessidade do bom funcionamento da logística interna para as operações industriais (SCHULZE e WULLNER, 2006).

Sua responsabilidade abrange as atividades dentro da propriedade da empresa, como por exemplo: o transporte interno de componentes, o manuseio dos materiais, a armazenagem da matéria-prima, entre outros (JONSSON, 2008).

Karande e Chakraborty (2013) apresentam as quatro funções que caracterizam a logística interna: transporte, posicionamento, unitização e armazenagem dos materiais. O transporte movimenta os materiais dentro da fábrica para os pontos de armazenagem e uso. O posicionamento auxilia os

funcionários, indexando e rotacionando os materiais, para um manuseio correto e ergonômico. A unitização, por sua vez, organiza os materiais para a formação de cargas unitárias padrão facilitando as demais funções logísticas. A armazenagem é uma função que estoca materiais por um período de tempo.

As operações de logística interna vêm se desenvolvendo de uma posição de simples processos que oneravam custos ao produto, e portanto deveria ser minimizada, para uma atividade chave na estratégia empresarial (CARTER, PEARSON e PENG, 1997). Uma vez que sua essência é de gerenciar o fluxo do material e informação, suas atividades devem ser reconhecidas como estratégicas, e não como uma função meramente operacional (GATTORNA, DAY e HARGREAVES, 1991). A logística interna pode ser uma das vantagens competitivas da empresa e representar uma poderosa ferramenta estratégica (OLAVARRIETA e ELLINGER, 1997).

Assim, a logística interna suporta uma operação industrial de excelência, desde que bem empregada e corretamente estruturada (GRANLUND, 2011). Para isso, os equipamentos que executam os processos de logística interna devem ser considerados (FRAZELE, 2001) na avaliação de melhorias para elevar a eficácia e eficiência de suas operações (KIHLÉN, 2007).

Com isso, observa-se a relevância da logística interna para as empresas e a necessidade de se avaliar os equipamentos aplicados em suas atividades para identificação dos mais adequados.

### **3 MÉTODO DE PESQUISA**

Este capítulo descreve a abordagem metodológica adotada nesta tese. Para isso, são apresentados e detalhados a classificação e o procedimento de pesquisa para a construção do método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para Indústria 4.0.

#### **3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA**

A pesquisa científica é fundamental para atender ao desejo quase que genérico do ser humano em conhecer a si mesmo e a realidade que o circunda (NASCIMENTO, 2002). É considerada uma atividade básica da Ciência na construção da realidade e busca de conhecimentos, apoiando-se em procedimentos capazes de dar confiabilidade aos resultados e de prever a ocorrência de determinados fenômenos (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Dada sua importância, uma pesquisa pode ser definida como (GIL, 1996, p. 17):

“um procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação dos resultados”.

Assim, uma pesquisa tem como objetivo resolver um problema proposto.

Em função do problema desta tese ser de aplicação industrial, esta pesquisa está inserida nos estudos da Engenharia de Produção, na área de concentração de Gestão e Estratégia, dentro da linha de pesquisa de Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos. Dessa forma, foram adotadas as classificações de pesquisa propostas por Karlsson (2009), que apresenta referências para pesquisas científicas na área de gestão das operações.

A classificação desta pesquisa se dá quanto a sua/seu:

- natureza: aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática na solução de problemas específicos (PRODANOV e FREITAS, 2013);
- objetivo: exploratória, uma vez que proporciona informações sobre o assunto que investiga, possibilitando sua definição e delineamento com a formulação de hipóteses ou descobrindo um novo enfoque para o tema (GIL, 1996);
- abordagem: quantitativa, que captura as evidências do trabalho por meio da mensuração das variáveis envolvidas, sem nenhum subjetivismo ou influência nos fatos a serem analisados (BRYMAN, 1989; MIGUEL, 2007);
- procedimento: revisão sistemática da literatura (teórico/conceitual) (LEVY e ELLIS, 2006) e *design science research* (LACERDA *et al.*, 2013).

### 3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O objetivo desta seção é apresentar as etapas utilizadas na abordagem metodológica desta tese. Para isso, dispõem-se da Figura 19 para ilustrar essas etapas.

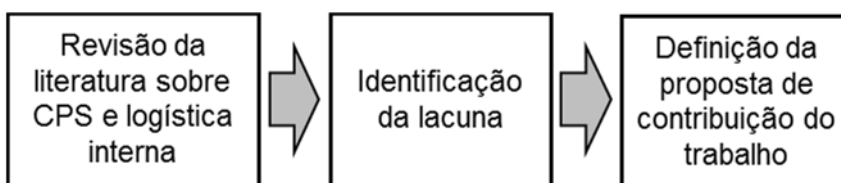


Figura 19 – Etapas da abordagem metodológica

Na primeira etapa desenvolve-se uma revisão da literatura sobre os temas CPS e logística interna.

Na segunda etapa identifica-se, a partir dos resultados da primeira etapa, a lacuna da literatura, que fundamenta o objetivo desta tese.

Na terceira etapa, define-se a proposta de contribuição deste trabalho. Para isso, define-se o procedimento de pesquisa que suporta a construção do

método de avaliação da aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

### 3.2.1 PROCEDIMENTO DE PESQUISA

Para este trabalho, adota-se como procedimento de pesquisa a revisão sistemática da literatura, para a definição da lacuna da literatura e o levantamento dos principais conceitos utilizados na sua solução, e o *design science research*, para o desenvolvimento do método de avaliação que responde ao objetivo geral desta tese, pois é um procedimento adequado para se projetar métodos.

#### 3.2.1.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Uma revisão bibliográfica sistemática permite ao pesquisador compilar os dados, refinar hipóteses, estimar o tamanho de amostras, definir melhor o método de pesquisa adotado ao problema em questão e direcionar pesquisas futuras (COOPER, 1998). O método de revisão bibliográfica sistemática é entendido como “o processo de coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de artigos científicos com o propósito de criar um embasamento teórico-científico (estado da arte) sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado” (LEVY e ELLIS, 2006).

Levy e Ellis (2006) explicam que uma efetiva revisão sistemática da literatura se dá em três etapas, apresentadas na Figura 20.

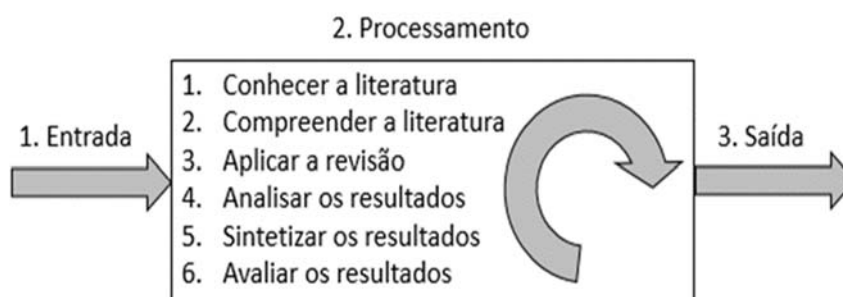


Figura 20 – Etapas de uma efetiva revisão sistemática da literatura  
(traduzido de LEVY e ELLIS, 2006)



A etapa de entrada é compreendida pela determinação dos termos de busca, seleção das fontes primárias de pesquisa, delimitação dos critérios de inclusão e estabelecimento dos critérios de exclusão, execução da pesquisa e compilação dos resultados.

A etapa de processamento reforça a necessidade de se executar ciclicamente as seis fases determinadas, aumentando o conhecimento sobre o assunto e repetindo-as quantas vezes forem necessárias até que os objetivos sejam atendidos. Dentro da etapa de processamento apresentam-se as fases de conhecer a literatura, compreender a literatura, aplicar a revisão, analisar resultados, sintetizar resultados e avaliar os resultados.

A etapa de saída é caracterizada pela apresentação dos resultados a partir das informações pesquisadas.

### **3.2.1.2 DESIGN SCIENCE RESEARCH**

A ciência natural, amplamente conhecida por descrever os fenômenos naturais e sociais, aborda um conjunto de conhecimentos sobre classes de objetos existentes no mundo e suas características, comportamentos e interações. Simon (1996), em complemento à ciência natural, propõe a “ciência do artificial” que estuda como os objetos devem ser para realizar determinadas funções e alcançar seu propósito. O “artificial” é entendido como um artefato que foi criado e produzido pelo homem, como máquinas, organizações, economia, entre outros. Assim, é possível entender que as escolas de engenharia ensinam o que se refere ao artificial, criando e projetando artefatos com propriedades definidas para atingir determinadas finalidades.

Artefatos são objetos ou sistemas que executem uma ação X para se obter um resultado Y em uma situação Z (VAN AKEN, 2004). Os artefatos são comumente classificados em constructos, modelos, métodos e instanciações, como apresentado no Quadro 3 (MARCH e SMITH, 1995; MANSON, 2006).

Quadro 3 – Tipos de artefatos

|                   |               |   |
|-------------------|---------------|---|
| Tipos de Artefato | Constructos   | Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções.   |
|                   | Modelos       | Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de <i>design</i> , modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são. |
|                   | Métodos       | Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes e um modelo em um espaço de solução.  |
|                   | Instanciações | Uma instanciação é a concretização de um artefato em seu ambiente. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. No entanto, uma instanciação pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos.                                     |

(traduzido de MARCH e SMITH, 1995 e MANSON, 2006)

O desenvolvimento de conhecimento para permitir a concepção e projeto de artefatos é a missão da *design science* (VAN AKEN, 2004), que difere das ciências naturais pelo seu objetivo de projetar e produzir sistemas e objetos que ainda não existam e/ou modificar situações existentes para alcançar melhores resultados (DRESCH, LACERDA e ANTUNES JR, 2015).

A *design science* tem a responsabilidade de conceber, projetar e validar artefatos que ainda não existem (LACERDA *et al.*, 2013) e *design science research* é o procedimento de pesquisa que operacionaliza seus conceitos para assegurar a devida validade e rigor científico (CHAKRABARTI, 2010).

*Design science research* é o procedimento rigoroso de criar e projetar artefatos para executar determinados propósitos que resolvam problemas observados, avaliar o que foi projetado e comunicar os resultados obtidos (ÇAGDAS e STUBKJÆR, 2011). O procedimento *design science research* é amplamente utilizado para desenvolver artefatos ou gerar conhecimento que sejam úteis na solução de problemas existentes na realidade (VENABLE, 2006).

Hevner (2007) explica que a execução do *design science research* se dá em três ciclos: relevância, rigor e projeto. A pesquisa em si, na qual se encontra o projeto do artefato, é ciclo fundamental e central, porém sua interação com os ciclos de relevância e rigor são essenciais para uma pesquisa científica válida (HEVNER, 2007). A Figura 21 ilustra a interação entre os três ciclos da execução do *design science research*.

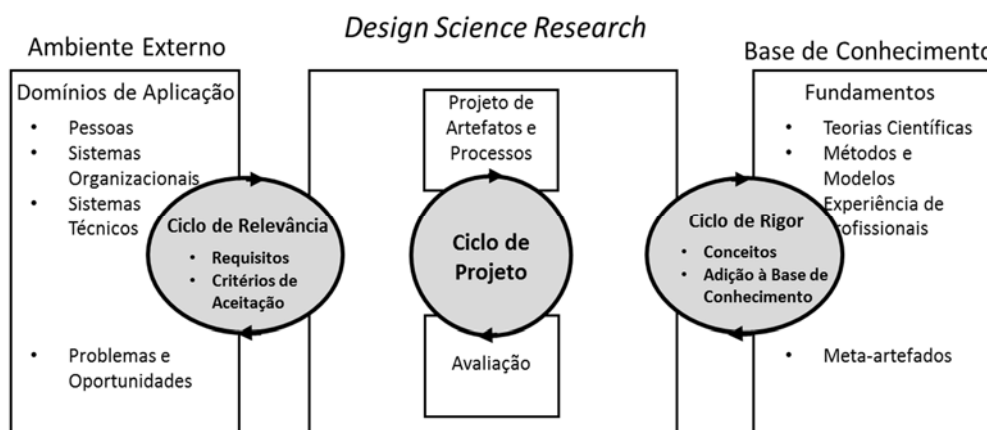


Figura 21 – Interação entre os ciclos do *design science research*

(traduzido de HEVNER, 2007)

O ciclo de relevância é o início do *design science research*. Neste ciclo é necessário, primeiramente, identificar se há oportunidades e/ou problemas nos domínios de aplicação existentes no ambiente externo: pessoas (funções, capacidades, características, etc), sistemas organizacionais (estratégias, estruturas, cultura, processos, etc) e/ou sistemas técnicos (infraestrutura, aplicações, literatura, etc). A partir de um problema de pesquisa definido e delimitado, é possível estabelecer os requisitos da pesquisa e os critérios de aceitação do artefato, que servirão de entrada para o ciclo do projeto (HEVNER, 2007).

O ciclo de rigor é o segundo ciclo do *design science research* e deve ser iniciado a partir da análise de uma vasta base de conhecimento que fundamenta toda a pesquisa, incluindo teorias científicas, modelos de engenharia, experiência de profissionais no domínio de aplicação e os artefatos existentes (HEVNER, 2007). Neste ciclo é pretendido encontrar as teorias apropriadas para idéias de projeto do artefato a ser desenvolvido, analisando a aderência aos requisitos da pesquisa (definidos no ciclo de relevância), os artefatos existentes, os projetos análogos em outros domínios de aplicação, além dos conceitos e teorias acadêmicas (IVARI, 2007).

O ciclo de projeto é o foco do *design science research* e o terceiro ciclo a ser realizado. As entradas de informação deste ciclo são as saídas dos ciclos de relevância e rigor, o que torna o ciclo de projeto relativamente independente para

sua execução (HEVNER, 2007). O objetivo do ciclo de projeto é a geração de pelo menos uma alternativa de projeto do artefato e seu respectivo êxito na avaliação quanto ao atendimento aos requisitos da pesquisa (SIMON, 1996).

Ivari (2007) recomenda que, apesar dos ciclos de execução do *design science research* conduzir a pesquisa de forma válida e cientificamente rigorosa, uma técnica sequencial que oriente detalhadamente o projeto do artefato, no ciclo de projeto, deve fazer com que a pesquisa seja mais disciplinada, rigorosa e transparente.

Nesse sentido, o trabalho de Manson (2006) apresenta que a condução do *design science research*, para o projeto do artefato, é formada por cinco etapas: conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e finalização, conforme apresentado na Figura 22.

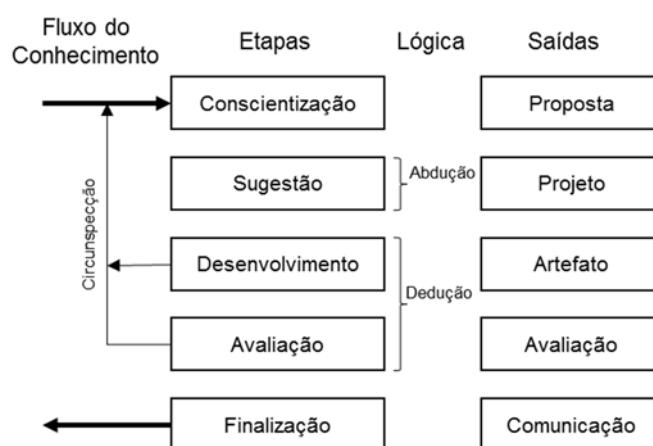


Figura 22 – Etapas de uma *design science research*  
(traduzido de MANSON, 2006)

Na etapa de conscientização o problema de pesquisa deve ser compreendido em uma ampla perspectiva, resultando na definição e formalização do problema, requisitos de pesquisa e o escopo do estudo (MANSON, 2006).

A etapa de sugestão é um processo criativo de abdução na tentativa de formular pelo menos um projeto de artefato, sabendo que distintos pesquisadores podem gerar diferentes possíveis soluções (MANSON, 2006). As sugestões de artefatos satisfatórias são aceitáveis quando uma solução ótima não for possível de se obter no complexo mundo real (SIMON, 1996). Uma

solução pode ser considerada satisfatória quando houver um consenso entre os envolvidos no problema e o artefato atender aos critérios de aceitação previamente definidos (HEVNER, 2007).

O desenvolvimento é a etapa de dedução, a partir das teorias existentes, em que o artefato é construído formando o seu estado funcional, como exemplo: algoritmos, *softwares*, sistemas, métodos, modelos, protótipos, entre outros (MANSON, 2006; LACERDA *et al.*, 2013).

Na etapa de avaliação, o comportamento do artefato, inserido no ambiente para o qual foi projetado, é analisado quanto ao atendimento da solução do problema de pesquisa (DRESCH, LACERDA e ANTUNES JR, 2015). Raramente um artefato atende completamente as expectativas de solução ao problema de pesquisa, portanto o desvio de desempenho do artefato aos critérios de aceitação devem ser devidamente apresentados. Caso o artefato não atenda aos critérios de aceitação há a necessidade de retornar à etapa de conscientização para ajustes na compreensão do problema de pesquisa, caminho chamado de circunspeção (MANSON, 2006).

A etapa de finalização deve consolidar o conhecimento adquirido, o processo de criação e o projeto do artefato, seus mecanismos de avaliação e os resultados obtidos (MANSON, 2006).

### **3.2.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA**

Esta seção tem como objetivo apresentar os passos do desenvolvimento desta pesquisa, utilizando como suporte o procedimento *design science research*.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi adotada a técnica de *design science research* proposta por Hevner (2007), com os três ciclos, apoiada pela técnica de Manson (2006), com suas cinco etapas de projeto.

Os passos do desenvolvimento desta pesquisa são apresentados na Figura 23.

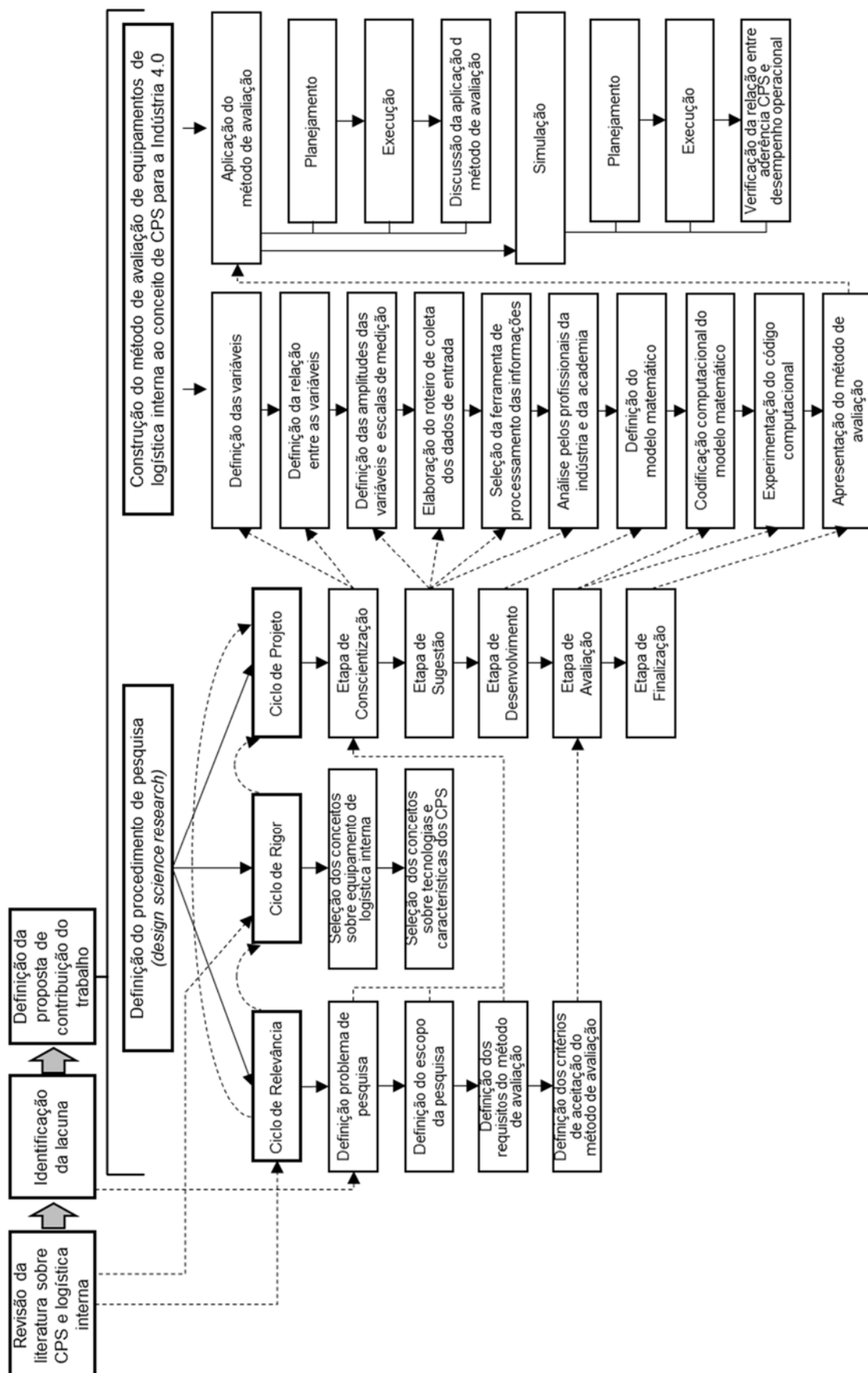


Figura 23 – Passos do desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa inicia-se com a etapa de revisão da literatura sobre CPS e logística interna com a finalidade analisar o conhecimento atual desses temas e verificar a existência de publicações que tratem da avaliação da aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

Na segunda etapa, a lacuna da literatura é identificada a partir da inexistência de tais publicações, analisadas pela etapa anterior.

A terceira etapa estabelece a contribuição deste trabalho. Para isso, define-se o procedimento de pesquisa em que se apóia a construção do método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

O procedimento de pesquisa adotado é o *design science research*, pois é adequado para a criação de métodos (de avaliação). Esse procedimento é desenvolvido em três ciclos: relevância, rigor e projeto.

O ciclo de relevância busca apresentar as necessidades do método de avaliação e para isso apóia-se na revisão da literatura e na lacuna para definir o problema e o escopo de pesquisa, assim como, os requisitos e critérios de aceitação do método de avaliação.

O ciclo de rigor apóia-se nas definições do ciclo de relevância e na revisão da literatura para identificar os conceitos e teorias que devem fundamentar o método de avaliação. Para isso, executa-se os passos de levantamento de conceitos sobre equipamentos de logística interna e tecnologias e características dos CPS.

O ciclo de projeto é apoiado nas definições anteriores dos ciclos de relevância e rigor e é executado em cinco etapas: conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e finalização. Sua execução permite construir o método de avaliação.

Na etapa de conscientização busca-se um amplo entendimento do método de avaliação. Para isso, revisita-se as necessidades apresentadas no ciclo de relevância e define-se as variáveis, e a relação entre elas, para atender a essas necessidades.

Na etapa de sugestão pretende-se formular o método de avaliação. Para isso, a amplitude e escalas de medição de cada variável deve ser definida. Com base nessas amplitudes e escalas, elabora-se o roteiro de coleta dos dados das variáveis de entrada. Ainda, nesta etapa deve-se selecionar a ferramenta de processamento das informações que permita relacionar as variáveis de saída com as de entrada. Por fim, o roteiro de coleta dos dados e a ferramenta de processamento das informações devem ser discutidas com profissionais da indústria e da academia para análise e recomendações.

Na etapa de desenvolvimento, define-se o modelo matemático do método de avaliação, que permite à ferramenta de processamento das informações calcular as variáveis de saída a partir dos valores identificados pelo roteiro de coleta dos dados.

Na etapa de avaliação, o modelo matemático deve ser codificado para o modelo computacional e experimentado até que satisfaça aos critérios de aceitação definidos no ciclo de relevância.

Na etapa de finalização apresenta-se o método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

A partir disso, executa-se a aplicação e a simulação do método de avaliação.

A aplicação é realizada em três passos: planejamento, execução e discussão. No planejamento se identifica os fabricantes e equipamentos que serão analisados pelo método de avaliação. Na execução, o método proposto é aplicado aos equipamentos identificados. No passo de discussão, busca-se analisar a aplicação do método de avaliação em equipamentos existentes no mercado.

A simulação deve ser realizada em três passos: planejamento, execução e verificação. No planejamento, identifica-se um processo logístico típico, alvo da simulação, as informações que descrevem suas atividades e define-se os indicadores de desempenho operacional. Na execução, a simulação deve ser realizada para o processo logístico atual e com os equipamentos previamente



avaliados na aplicação do método, obtendo-se os respectivos desempenhos operacionais. No passo de verificação, busca-se investigar a existência de relação entre aderência ao conceito de CPS e desempenho operacional desses equipamentos de logística interna simulados.

## **4 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADERÊNCIA DE EQUIPAMENTOS DE LOGÍSTICA INTERNA AO CONCEITO DE CPS PARA A INDÚSTRIA 4.0**

Este capítulo descreve a execução e os resultados dos passos do desenvolvimento desta pesquisa (Figura 23) para a construção do método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

### **4.1 CICLO DE RELEVÂNCIA**

O primeiro ciclo do *design science research* é o de relevância. Em seus passos, apresentados a seguir, são definidos o problema e o escopo da pesquisa, bem como os requisitos e os critérios de aceitação do método de avaliação.

#### **4.1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA**

A definição do problema de pesquisa parte da revisitação da lacuna da literatura, apresentada no Capítulo de Introdução.

Para se verificar essa lacuna, esta seção apresenta uma revisão sistemática da literatura em que se pretende demonstrar a inexistência de trabalhos que tratem da avaliação de equipamentos de logística interna em relação ao conceito de CPS. Essa revisão sistemática da literatura é conduzida seguindo a técnica de Levy e Ellis (2006).

Para isso, na etapa de entrada, define-se como sentença de busca: *(CPS OR “cyber-physical”) AND (evaluat\* OR maturity OR assess\*)*.

Essa sentença é aplicada ao título das publicações das bases de busca: *Scopus, Web of Science, Springer Link, Emerald Insight, Science Direct e IEEE*, por serem reconhecidas bases de busca de publicações em Engenharia de Produção.

Como critérios de inclusão, define-se os artigos ou *conference proceedings*, por serem as mais recentes publicações. Também como critério de inclusão, define-se a área de aplicação de engenharia, pois o tema é relevante à Engenharia de Produção. Ainda, os documentos publicados em todos os anos serão incluídos na busca.

Com base nisso, os critérios de exclusão são: remoção dos documentos duplicados entre bases de busca, a eliminação dos demais tipos de publicações que não são artigos ou *conference proceedings* (como livros, editais, apresentações, etc.) e dos documentos de outras áreas de aplicação que não são da área de engenharia (como matemática, física, saúde, informática, astronomia, etc.). Também como critério de exclusão, os documentos que não avaliem diretamente os CPS serão removidos após a leitura e entendimento de seus respectivos resumos e conclusões. Ainda, os trabalhos que avaliem um processo em relação ao conceito de CPS serão excluídos, pois o foco desta busca é a avaliação de equipamentos ao conceito de CPS.

A partir dessas definições a busca foi executada e a Figura 24 apresenta os resultados.

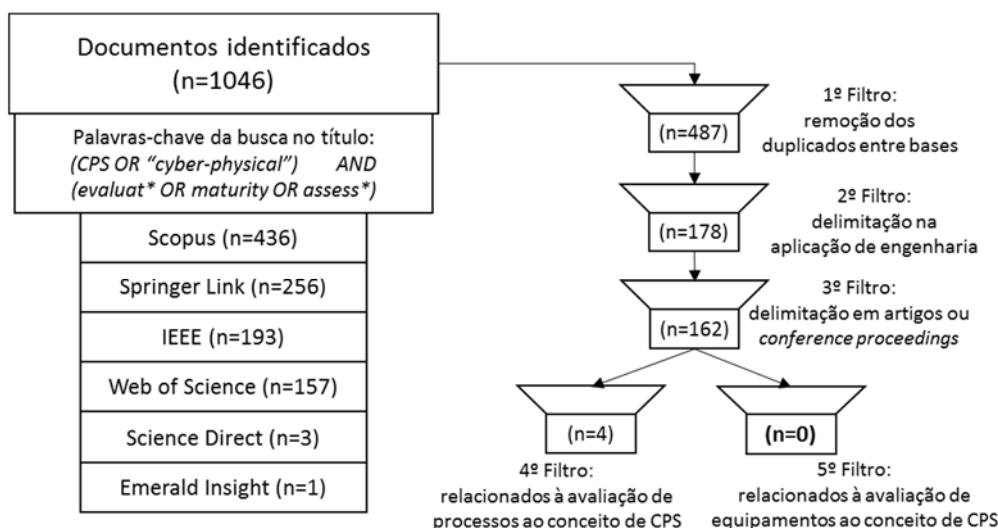


Figura 24 – Revisão da literatura sobre avaliação de equipamentos em relação ao conceito de CPS

A partir da Figura 24, verifica-se a identificação de 1046 documentos conforme o critério de busca. Após a remoção dos documentos em duplicidade entre as bases de busca, delimita-se a 487 documentos. A delimitação à

documentos na área de engenharia resulta em 178 publicações. Segregando os artigos e *conference proceedings* identifica-se 162 documentos. Essas publicações foram avaliadas pela leitura de seus resumos e conclusões e eliminadas as que não apresentam avaliação de CPS, chegando a 4 documentos. Por fim, esses documentos apresentam uma avaliação de amplos processos ao conceito de CPS, o que não é foco dessa busca, e portanto foram eliminadas.

Já na etapa de processamento, para se conhecer e compreender a literatura, inicia-se pelos 162 artigos ou *conference proceedings* identificados na área de engenharia. Ao longo da leitura dos resumos e conclusões desses trabalhos foi possível entender que muitos pesquisadores trabalham com a avaliação de específicos aspectos e características de sistemas industriais ao se aplicar as tecnologias de CPS, como exemplo: desempenho e confiabilidade dos processos produtivos ou comportamento e segurança das redes de comunicação. Esses trabalhos foram eliminados, pois não são o foco desta revisão da literatura.

A revisão dos 4 documentos sobre avaliação dos processos em relação ao conceito de CPS apresenta publicações com análises genéricas e de difícil replicação, pois as definições dos critérios avaliados nestes documentos não são claras e nem objetivas.

Weyrich *et al.* (2017) apresentam um modelo qualitativo de avaliação de habilidades e de indicadores de desempenho para identificar o impacto no valor agregado com a implementação de CPS nas operações industriais.

Tan *et al.* (2018) apresentam um modelo de maturidade da implementação dos CPS nos processos de manufatura por meio da avaliação aspectos desses sistemas.

Westermann e Dumitrescu (2018) avaliam as capacidades dos CPS para identificar a maturidade de sua implementação nos processos industriais com o propósito de direcionar futuros investimentos dos projetos de melhoria.

Pei *et al.* (2019) apresentam uma ferramenta de avaliação generalizada dos processos de logística interna para identificar nas empresas as atividades que mais se beneficiam com a possível aplicação dos CPS.

Como os documentos analisados não trouxeram nenhuma nova necessidade ou palavra-chave de busca, os resultados podem, na etapa de saída, ser analisados e apresentados.

O resultado desta revisão da literatura é de 0 (zero) publicações, verificando-se uma lacuna na literatura.

Entende-se que este resultado se dá pela insuficiência de conhecimento dos profissionais sobre os CPS, com suas tecnologias e características, como explica Seshia *et al.* (2017).

Com a verificação dessa lacuna na literatura, define-se o problema de pesquisa para esta tese: como determinar o grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 ?

#### **4.1.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA**

Como apresentado também no Capítulo de Introdução desta tese, o escopo da pesquisa estende-se aos equipamentos de logística interna.

Para delimitar os equipamentos que farão parte do escopo desta pesquisa foi utilizada a definição de Lee (2010: para ser um CPS, um dispositivo deve obrigatoriamente apresentar automação (monitoramento e controle do ambiente físico) por computadores. Isso é corroborado por Leitão, Colombo e Karnouskos (2015), que explicam que a automação industrial é a base dos CPS.

Dessa forma, para identificar os equipamentos de logística interna passíveis de automação, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura, seguindo a técnica de Levy e Ellis (2006).

Para isso, na etapa de entrada, a sentença ("*material handling*" OR *intra*logistic\* OR "*internal logistic*\*") AND *automat*\* foi aplicada ao título para

identificar documentos das bases de busca *Scopus*, *Web of Science*, *Springer Link*, *Science Direct*, *Emerald Insight* e *IEEE*.

Como critério de inclusão adota-se os documentos na área de engenharia (por englobar a Engenharia de Produção), os artigos ou *conference proceedings* (por conter os desenvolvimentos mais recentes) e os documentos dos últimos 10 anos, 2009 a 2019 (para abranger os manuscritos com tecnologias mais recentes).

Como critério de exclusão, remove-se os trabalhos duplicados entre bases de busca, os documentos das demais áreas (que não são de engenharia), os demais tipos de trabalhos (que não são artigos ou *conference proceedings*) e as publicações anteriores a 2009. Também como critério de exclusão, os documentos que não apresentam aplicações de automação em equipamentos de logística interna serão removidos após a leitura e entendimento de seus respectivos resumos e conclusões.

A partir dessas definições a busca foi executada e a Figura 25 apresenta os resultados.

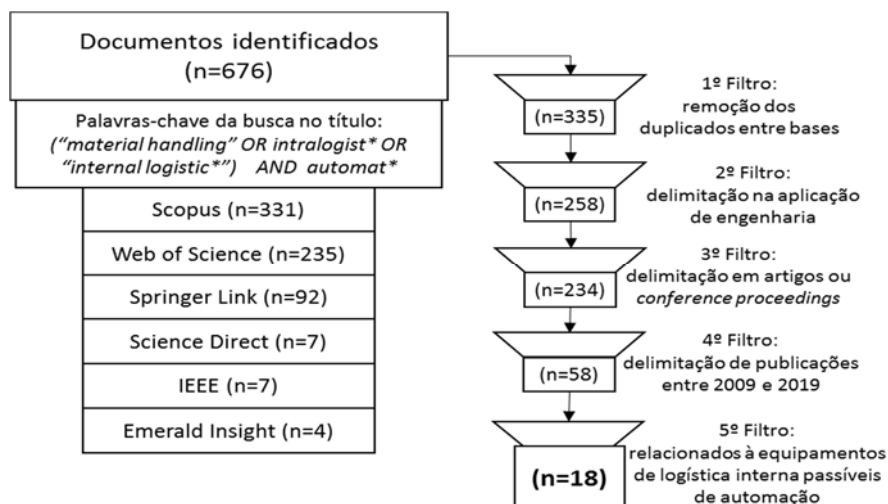


Figura 25 – Revisão da literatura sobre equipamentos de logística interna passíveis de automação

A partir da Figura 25, verifica-se a identificação de 676 documentos conforme o critério de busca. Após a remoção dos documentos em duplicidade entre as bases de busca, delimita-se a 335 documentos. A delimitação a documentos na área de engenharia resulta em 258 publicações. Segregando os

artigos e *conference proceedings* identifica-se 234 documentos. Delimitando-se ainda nas publicações de 2009 a 2019, apresentam-se 58 documentos. Essas publicações foram avaliadas pela leitura de seus resumos e conclusões e eliminadas as que não apresentam aplicações de automação em equipamentos de logística interna.

Na etapa de processamento, a partir da análise dos 58 documentos selecionados, foi possível verificar que parte dos trabalhos avaliados apresentam propostas de roteamento automático aplicáveis a qualquer dispositivo da logística interna, sem citar o equipamento especificamente. Outros trabalhos apresentam melhorias na eficiência energética dos equipamentos automáticos de logística interna, também sem citar especificamente o dispositivo aplicável. Esses trabalhos foram eliminados, pois não são foco desta pesquisa.

Dessa forma, na etapa de saída, o resultado desta revisão da literatura é de 18 (dezoito) publicações, apresentadas no Quadro 4, conforme a aplicação da automação no respectivo equipamento de logística interna.

Quadro 4 – Equipamentos de logística interna passíveis de automação

| Equipamentos de Logística Interna passíveis de automação |                                  | Equipamentos de Logística Interna |                            |                      |          |       |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------|----------|-------|
|  |                                  | AGV                               | Transportadores (conveyor) | Veículos Industriais | Robô     | AS/RS |
| Publicações  | Kim <i>et al.</i> , 2009         | X                                 |                            |                      |          |       |
|  | Lin <i>et al.</i> , 2010         |                                   |                            | X                    |          |       |
|  | Xing <i>et al.</i> , 2010        |                                   |                            |                      |          | X     |
|  | Heragu <i>et al.</i> , 2011      | X                                 | X                          |                      |          | X     |
|  | Lin e Huang, 2011                |                                   |                            | X                    |          |       |
|  | Babic <i>et al.</i> , 2012       | X                                 |                            |                      |          |       |
|  | Klotz <i>et al.</i> , 2013       | X                                 | X                          |                      |          |       |
|  | Mashaei e Lennartson, 2013       | X                                 | X                          |                      | X        |       |
|  | Bloss, 2014                      | X                                 |                            |                      |          | X     |
|  | Miermeister <i>et al.</i> , 2014 |                                   |                            |                      | X        |       |
|  | Chung, 2015                      | X                                 | X                          |                      | X        |       |
|  | Sadasivam, 2015                  |                                   | X                          |                      |          |       |
|  | Spindler <i>et al.</i> , 2016    |                                   | X                          |                      |          |       |
|  | Zhang <i>et al.</i> , 2016       | X                                 |                            | X                    |          |       |
|  | Pan <i>et al.</i> , 2017         | X                                 |                            | X                    |          |       |
|  | Schmaler <i>et al.</i> , 2017    |                                   |                            | X                    |          |       |
|  | Seha <i>et al.</i> , 2017        | X                                 |                            |                      |          |       |
|  | Maheswari <i>et al.</i> , 2019   | X                                 | X                          | X                    | X        |       |
| <b>Total</b>   | <b>11</b>                        | <b>7</b>                          | <b>6</b>                   | <b>4</b>             | <b>3</b> |       |

A partir dessas considerações, o escopo desta pesquisa é delimitado aos equipamentos de logística interna com possibilidade de serem CPS, ou seja, os passíveis de automação controlados por computadores: AGV (*automated guided vehicles*), Transportadores (*conveyor*), Veículos industriais, Robôs e AS/RS (*automated storage and retrieval system*). Isso atende um dos objetivos específicos nesta tese, identificar os equipamentos de logística interna passíveis de ser um CPS.

#### **4.1.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO**

Bowersox e Closs (2001) e Ballou (2006) explicam a criticidade dos equipamentos da logística interna na competitividade das empresas e Karande e Chakraborty (2013) apresentam as quatro funções que os caracterizam (transporte, posicionamento, unitização e armazenagem).

Kagermann (2014) explica que os CPS são a tecnologia habilitadora da Indústria 4.0 e Lee (2010) apresenta o conceito de CPS em que Geisberger e Broy (2014) e ACATECH (2017) se norteiam para identificar suas dezessete tecnologias e cinco características.

Por sua vez, Prodanov e Freitas (2013) explicam os métodos quantitativos, que traduzem informações em números. Os métodos de pesquisa quantitativos, para serem considerados confiáveis e rigorosos, devem possuir características de mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação (BRYMAN, 1989).

Com base nessas considerações foram definidos três grupos conceituais-teóricos: equipamentos de logística interna, CPS e método quantitativo.

Fundamentado por esses grupos conceituais-teóricos, estabelecem-se os requisitos do método de avaliação dos equipamentos de logística interna em relação ao conceito de CPS para a Indústria 4.0, como sendo:



- Selecionar equipamentos de logística interna;
- Mensurar o grau de aderência dos equipamentos logísticos internos às cinco características dos CPS;
- Mensurar o grau de aderência dos equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

Além desses requisitos, soma-se o atendimento às características de um método quantitativo, pois a função do método de avaliação a ser elaborado é traduzir informações em números.

#### **4.1.4 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO MÉTODO DE AVALIAÇÃO**

Dresch, Lacerda e Antunes Jr (2015) explicam que critério de aceitação primário do *design science research* é o atendimento do artefato aos requisitos da pesquisa. Dessa forma, o principal critério de aceitação é a capacidade do método de avaliação em satisfazer os requisitos anteriormente definidos.

Manson (2006) declara que raramente um artefato atende completamente as expectativas do problema de pesquisa e que um desvio dos critérios de aceitação é permitido, porém com sua devida apresentação. Assim, por se tratar de uma pesquisa inédita, onde não há base acadêmica para comparação dos resultados quantitativos, aceita-se até 2% de erro entre a resposta do método de avaliação e os dados de seu projeto para os requisitos de medição da aderência às características e ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

Aos demais requisitos não são permitidos desvios, ou seja, o método de avaliação deve selecionar somente equipamentos que atendam pelo menos uma função de logística interna e atender todas as características de um método quantitativo.

Os requisitos do método e seus critérios de aceitação são ilustrados na Figura 26, a partir dos três grupos conceituais-teóricos.

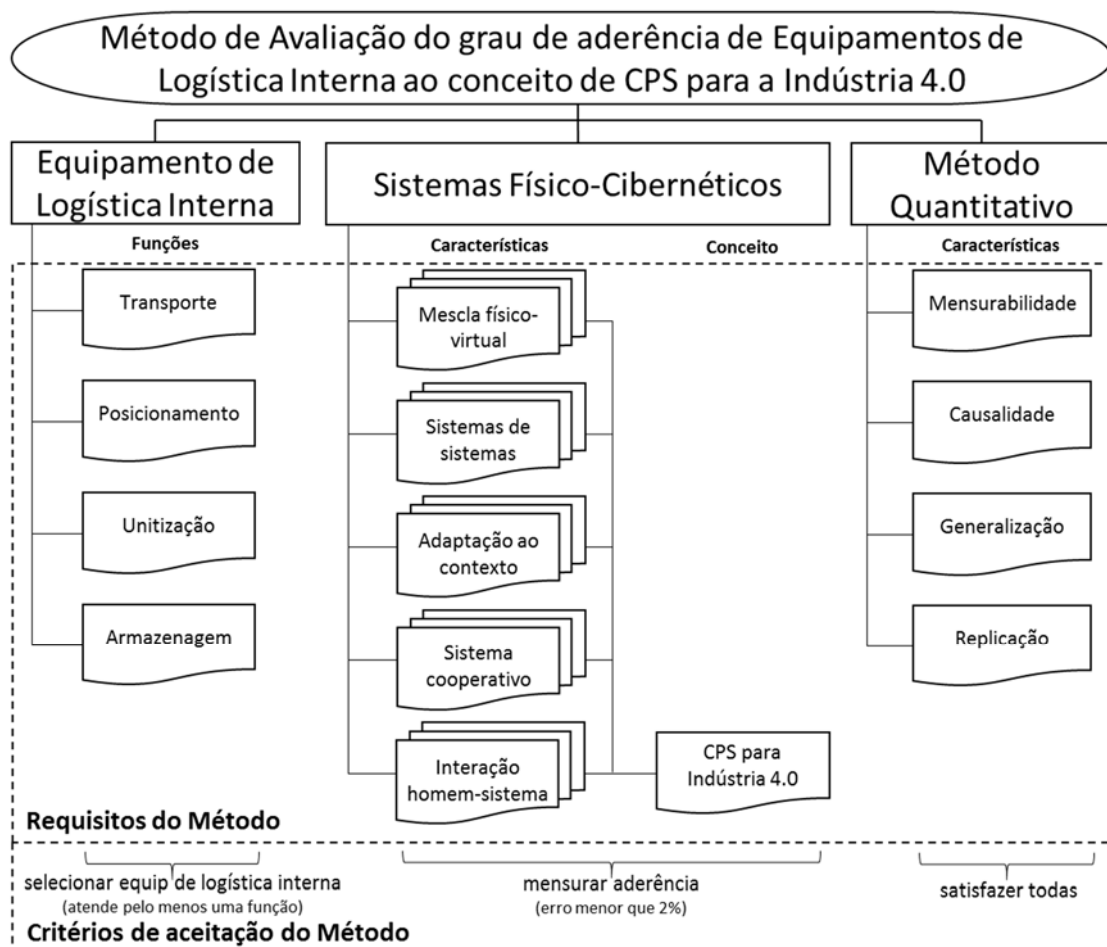


Figura 26 – Requisitos e critérios do método de avaliação

## 4.2 CICLO DE RIGOR

O ciclo de rigor é o segundo a ser executado do *design science research*.

Nos passos do ciclo de rigor a seguir são apresentadas as seleções dos conceitos e teorias que suportam os grupos conceituais-teóricos definidos a partir dos requisitos do método no ciclo de relevância (apresentados na Figura 26).

Devido ao conceito e características de método quantitativo serem universalmente conhecidas e aceitas pelos pesquisadores, não há a necessidade da seleção de conceitos e teorias para esse grupo conceitual-teórico.

#### **4.2.1 SELEÇÃO DOS CONCEITOS SOBRE EQUIPAMENTOS DE LOGÍSTICA INTERNA**

A partir da revisão narrativa da literatura da Seção 2.3, são selecionados os principais conceitos e teorias sobre logística, em específico sobre a logística interna.

Nessa revisão é possível verificar que a logística interna tem como principal objetivo estabelecer um fluxo ordenado de materiais e estoque em processo para cumprir a programação da produção, como apresentado por Bowersox e Closs (2001). Para suportar a execução desse objetivo, Karande e Chakraborty (2013) apresentam as funções dos equipamentos aplicados nestes processos.

Com isso, adota-se a definição de Karande e Chakraborty (2013) para apoiar a construção do método de avaliação, sendo que um equipamento é aplicável à logística interna se possuir pelo menos uma das quatro funções: transporte, posicionamento, unitização e armazenagem.

#### **4.2.2 SELEÇÃO DOS CONCEITOS SOBRE TECNOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS FÍSICO-CIBERNÉTICOS**

Face às diferentes visões dos autores sobre o tema, realizou-se uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de encontrar o conceito de CPS, e suas tecnologias e características, mais adotado pelos pesquisadores da área. Para tanto, utiliza-se a técnica de revisão sistemática da literatura de Levy e Ellis (2006).

Para essa revisão, na etapa de entrada foi definida a sentença de busca (*CPS OR “cyber-physical” AND system\**) AND (*definit\* OR foundation\* OR concept\* OR technolog\* OR characteristic\**) existentes no título dos documentos para abranger todas as variâncias de semântica da pesquisa. Como bases de busca são adotadas: *Scopus, Web of Science, Emerald, Science Direct, Springer Link e IEEE*, englobando as principais fontes de literatura sobre o tema na área de Engenharia de Produção.

Como critério de inclusão define-se os artigos ou *conference proceedings* (publicações das mais recentes pesquisas) da área de engenharia (onde a Engenharia de Produção está inserida).

Para o critério de exclusão, elimina-se os documentos repetidos entre as bases de busca, os demais tipos de publicações que não são artigos ou *conference proceedings* (como livros, editais, apresentações, etc.) e as demais áreas de aplicação que não são de engenharia (como matemática, física, saúde, informática, astronomia, etc.).

A partir dessas definições a busca foi executada e a Figura 27 apresenta os resultados.

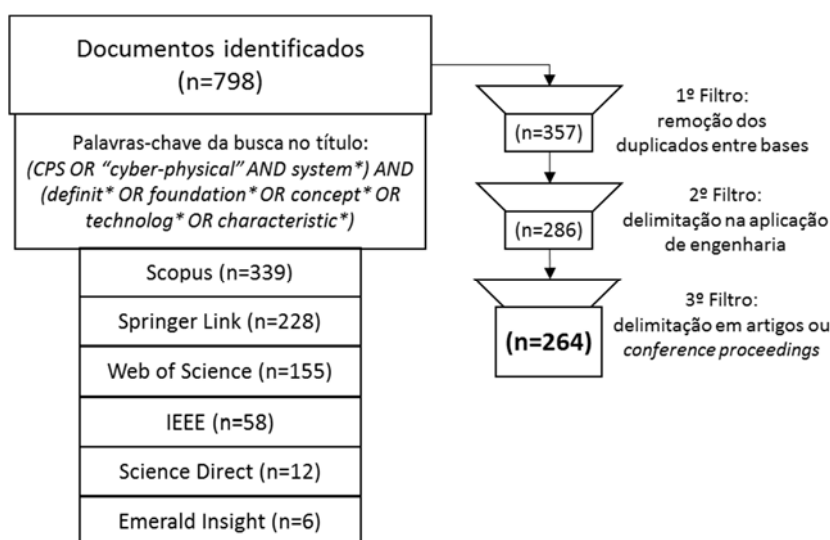


Figura 27 – Revisão da literatura sobre conceito de CPS

A partir da Figura 27, verifica-se a identificação de 798 documentos conforme o critério de busca. Após a remoção dos documentos em duplicidade entre as bases de busca, delimita-se a 357 documentos. A delimitação à documentos na área de engenharia resulta em 286 publicações. Segregando os artigos e *conference proceedings* identifica-se 264 documentos.

Na etapa de processamento, para se conhecer e compreender a literatura na busca do conceito de CPS mais adotado pelos pesquisadores, emprega-se análise de cocitação. Essa é uma das técnicas clássicas de bibliometria para se examinar na literatura a estrutura intelectual de um dado domínio do



academia para desenvolvimento da Indústria 4.0 em todos os países da Europa, corroboram com Lee (2010). Esse conceito de CPS é a base para a definição das características, formadas a partir das tecnologias, que um sistema ou equipamento necessita para ser implementado na Indústria 4.0 (GEISBERGER e BROY, 2014; TÖRNGREN *et al.*, 2014).

Com base nisso, adota-se as cinco características e dezessete tecnologias dos CPS para a Indústria 4.0, propostas pela ACATECH (GEISBERGER e BROY, 2014) e CyPhERS (TÖRNGREN *et al.*, 2014), para apoiar a construção do método de avaliação.

Essas definições atendem um dos objetivos específicos desta tese, identificar as tecnologias, as características e o conceito dos CPS para a Indústria 4.0.

### **4.3 CICLO DE PROJETO**

O ciclo de projeto é o terceiro a ser executado no *design science research* e também o mais complexo. Esse ciclo é suportado pelas definições dos ciclos de relevância e rigor, segue as cinco etapas apresentadas no desenvolvimento da pesquisa (Figura 23) e tem o intuito de construir o método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

#### **4.3.1 ETAPA DE CONSCIENTIZAÇÃO**

A etapa de conscientização tem como objetivo definir as variáveis do método de avaliação e a relação entre elas para atender aos requisitos apresentados na Seção 4.1.3.

##### **4.3.1.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS**

Como variável de saída, de acordo com os requisitos do método de avaliação, adota-se a aderência do equipamento logístico avaliado ao conceito de CPS para a Indústria 4.0, que é apoiada em Lee (2010).

Também, para atender os requisitos do método de avaliação, adota-se como variáveis de saída a aderência do equipamento logístico analisado a cada uma das características dos CPS, apresentadas pela ACATECH (GEISBERGER e BROY, 2014), a saber: mescla dos mundos físico e virtual - MFV, sistemas de sistemas com adaptação dinâmica dos limites - SoS, adaptação ao contexto em operação total ou semi-autônoma - AC, sistemas cooperativos com controle distribuído - SC e cooperação extensiva homem-sistema - CHS.

Para finalizar o atendimento aos requisitos, adota-se como variáveis de entrada as funções logísticas de transporte - T, posicionamento - P, unitização - U e armazenagem - A, explicadas por Karande e Chakraborty (2013), para determinar se um equipamento é aplicável à logística interna. Com base nisso, um dispositivo que possua a capacidade de executar pelo menos uma dessas funções é considerado um equipamento de logística interna, sendo apropriado para ser examinado pelo método de avaliação.

Ainda, fundamentado nas definições de ACATECH (GEISBERGER e BROY, 2014), as tecnologias básicas dos CPS também são definidas como variáveis de entrada. Com isso, a existência das cinco tecnologias básicas (modelos de domínio - MD, sensores e atuadores - SA, plataformas de comunicação - PC, processadores paralelos - PP e controladores distribuídos - CD) determinam se um equipamento é um CPS, apto a ser analisado pelo método de avaliação.

Além disso, as doze tecnologias referentes às habilidades específicas dos CPS, apresentadas por ACATECH (GEISBERGER e BROY, 2014), são adotadas como variáveis de entrada, a saber: fusão de sensores - FS, reconhecimento de padrões - RP, reconhecimento de situações - RS, avaliação da situação por multi-critérios - MC, abordagem por inteligência artificial - IA, sistemas multi-agente - MA, interface homem-máquina - HM, reconhecimento de plano e intenção - RI, modelamento humano - MH, aprendizado da máquina - AP, auto-organização na manufatura - OM e redes de comunicação auto-organizáveis - CO. Essas variáveis possuem diferentes níveis de desenvolvimento, dependentes de cada respectiva tecnologia, e devem permitir

a mensuração do equipamento logístico quanto a aderência às características e ao conceito dos CPS para a Indústria 4.0.

#### **4.3.1.2 DEFINIÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS**

Para este trabalho define-se que a relação entre as variáveis de entrada e saída do método de avaliação deve seguir o conceito de um modelo combinacional, onde as saídas são combinações das entradas, com as devidas relações e ponderações.

Essa relação combinacional é fundamentada nas explicações da ACATECH apresentadas por Broy, Cengarle e Geisberger (2012), que discutem a igual importância de cada tecnologia para compor as características e as competências dos CPS (Quadro 1), apresentadas na Seção 2.2.2. A partir disso, é possível estabelecer a influência das tecnologias para cada respectiva competência, e portanto, sua influência na devida característica dos CPS. Dessa forma, têm-se para cada característica CPS sua respectiva tecnologia de suporte:

- Mescla dos mundos físico e virtual (MFV) é suportada por: Fusão de sensores (FS), Reconhecimento de padrões (RP), Reconhecimento de situações (RS), Avaliação da situação por multi-critérios (MC), Sistemas multi-agente (MA) e Redes de comunicação auto-organizáveis (CO).
- Sistemas de sistemas com adaptação dinâmica dos limites (SoS) é suportada por: Reconhecimento de padrões (RP), Reconhecimento de situações (RS), Avaliação da situação por multi-critérios (MC), Sistemas multi-agente (MA), Aprendizado da máquina (AP) e Auto-organização na manufatura (OM).
- Adaptação ao contexto em operação total ou semi-autônoma (AC) é suportada por: Reconhecimento de padrões (RP), Reconhecimento de situações (RS), Avaliação da situação por multi-critérios (MC), Abordagem por inteligência artificial (IA), Sistemas multi-agente (MA), Interface homem-máquina (HM), Reconhecimento de plano e intenção (RI), Aprendizado da máquina (AP) e Auto-organização na manufatura (OM).



- Sistemas cooperativos com controle distribuído (SC) é suportada por: Reconhecimento de situações (RS), Avaliação da situação por multi-critérios (MC), Abordagem por inteligência artificial (IA), Sistemas multi-agente (MA), Aprendizado da máquina (AP) e Auto-organização na manufatura (OM).
- Cooperação extensiva homem-sistema (CHS) é suportada por: Reconhecimento de situações (RS), Avaliação da situação por multi-critérios (MC), Abordagem por inteligência artificial (IA), Interface homem-máquina (HM), Reconhecimento de plano e intenção (RI), Modelamento humano (MH) e Aprendizado da máquina (AP).

A Figura 29 ilustra a influência de cada característica CPS por sua devida tecnologia, representando as variáveis de saída “características dos CPS” a partir das variáveis de entrada “tecnologias dos CPS”.

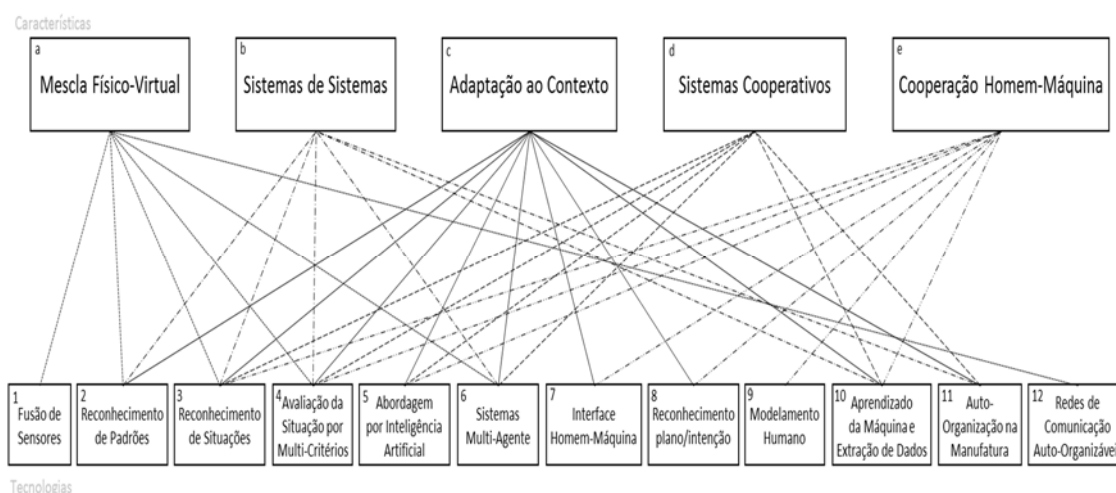


Figura 29 – Influência das características CPS por suas tecnologias

A partir disso, Broy e Geisberger (2011) explicam que todas as cinco características (a. a e.) são igualmente importantes e necessárias para que os CPS desempenhem suas funções. Essa explicação é, ainda, o modelo de CPS recomendado por Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) para o desenvolvimento da Indústria 4.0. Com isso, entende-se que um CPS atende os requisitos da Indústria 4.0 quando é suportado por todas as suas cinco características. A Figura 30 apresenta a influência de cada variável de saída “características dos CPS” na também variável de saída “conceito de CPS para Indústria 4.0”.

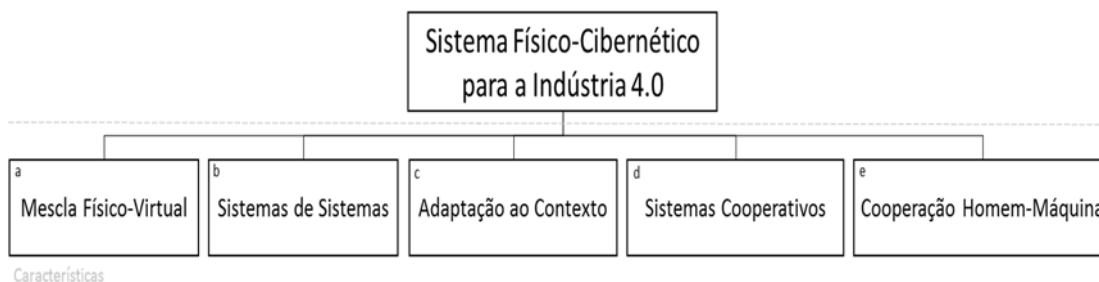


Figura 30 – Influência de um CPS para Indústria 4.0 por suas características

#### 4.3.2 ETAPA DE SUGESTÃO

A etapa de sugestão é fundamentada nas definições anteriores da etapa de conscientização e tem o propósito de definir as amplitudes das variáveis e suas escalas de medição, elaborar o roteiro de coleta dos dados de entrada, selecionar a ferramenta de processamento dessas informações e realizar uma análise destes roteiro e ferramenta pelos profissionais da indústria e da academia.

##### 4.3.2.1 DEFINIÇÃO DAS AMPLITUDES DAS VARIÁVEIS E ESCALAS DE MEDIÇÃO

Com base nas explicações de Karande e Chakraborty (2013), entende-se que os equipamentos de logística interna atendem ou não as funções logísticas. Portanto, a escala dessas variáveis são dicotômicas e de amplitude unitária.

Dessa mesma forma, os equipamentos logísticos possuem ou não as tecnologias básicas para ser um CPS. Esse entendimento é fundamentado pela literatura apresentada por: Lee, Bagheri e Kao (2014) para os modelos de domínio (MD), Lee e Seshia (2015) para os sensores e atuadores (SA), Möller (2016) para as plataformas de comunicação (PC), Kim *et al.* (2013) para os processadores paralelos (PP) e Derler *et al.* (2008) para os controladores distribuídos (CD). Com isso, a escala dessas variáveis também são dicotômicas e de amplitude unitária.

Por sua vez, as variáveis de entrada referentes às demais tecnologias dos CPS possuem diferentes níveis de desenvolvimento, dependentes de cada respectiva tecnologia. Esses níveis são explicados na literatura e fundamentadas

em: Hall (1997) para a fusão de sensores (FS), Devedzic e Radovic (1999) e Zaremba (2010) para o reconhecimento de padrões (RP), Endesley e Jones (2004) para o reconhecimento de situações (RS), Aguezzoul (2010) para a avaliação da situação por multi-critérios (MC), Oke (2008) e Chen, Jakeman e Norton (2008) para abordagem por inteligência artificial (IA), McArthur *et al.* (2007) para os sistemas multi-agente (MA), Eason (1991) para a interface homem-máquina (HM) e modalidades de interação, Kanno, Nakata e Furuta (2003) para o reconhecimento de plano e intenção (RI), Parasuraman, Sheridan e Wickens (2000) para o modelamento humano e do usuário (MH), Somvanshi *et al.* (2016) para o aprendizado da máquina (AP), Malhota, Raj e Arora (2010) para a auto-organização na manufatura (OM) e Dressler (2006) para as redes de comunicação auto-organizáveis (CO). Por suas características, essas variáveis são escalares e podem, ou não, ser de natureza cumulativa, isto é, para se obter o nível máximo de desenvolvimento da tecnologia é necessário que os níveis anteriores sejam satisfeitos.

Face ao exposto, apresentam-se suas amplitudes:

- Fusão de sensores (FS): de 1 a 5 (cumulativo)
- Reconhecimento de padrões (RP): de 1 a 5 (cumulativo)
- Reconhecimento de situações (RS): de 1 a 3 (cumulativo)
- Avaliação por multi-critérios (MC): de 1 a 4 (não-cumulativo)
- Abordagem por inteligência artificial (IA): de 1 a 5 (não-cumulativo)
- Sistemas multi-agente (MA): de 1 a 3 (cumulativo)
- Interface homem-máquina (HM): de 1 a 3 (cumulativo)
- Reconhecimento de plano e intenção (RI): de 1 a 3 (cumulativo)
- Modelamento humano (MH): de 1 a 10 (não-cumulativo)
- Aprendizado da máquina (AP): de 1 a 3 (não-cumulativo)
- Auto-organização na manufatura (OM): de 1 a 10 (cumulativo)
- Redes de comunicação auto-organizáveis (CO): de 1 a 5 (não-cumulativo)

Por fim, as variáveis de saída são escalares e de amplitude unitária, pois cobrem a faixa de aderência de 0% a 100% do equipamento avaliado às características e ao conceito de um CPS para operação na Indústria 4.0.

A Figura 31 ilustra a relação combinacional entre as variáveis e suas escalas.

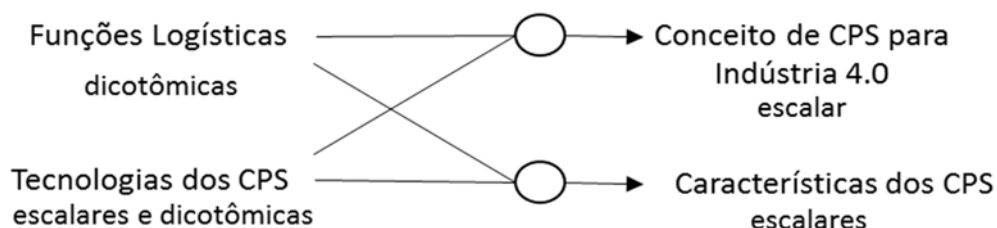


Figura 31 – Relação combinacional das variáveis e suas escalas

#### 4.3.2.2 ELABORAÇÃO DO ROTEIRO DE COLETA DOS DADOS DE ENTRADA

Para a coleta de dados elabora-se um roteiro fundamentado nas variáveis de entrada com suas escalas e amplitudes.

As questões deste roteiro foram adaptadas para capturar as propriedades dos equipamentos logísticos aplicados na logística interna a partir da literatura de referência de cada respectiva variável de entrada, apresentadas anteriormente na Seção 4.3.2.1 (Definição das amplitudes das variáveis e escalas de medição).

Para a questão referente às funções de logística interna, busca-se averiguar se o equipamento executa pelo menos uma delas.

Por sua vez, as questões relativas às tecnologias básicas dos CPS devem analisar se o equipamento possui todas elas.

Já as questões referentes às demais tecnologias dos CPS devem avaliar no equipamento o respectivo estágio de desenvolvimento de cada uma delas.

O roteiro de coleta dos dados de entrada finalizado é apresentado na Seção 4.3.2.4, após a análise pelos profissionais da indústria e academia.

#### 4.3.2.3 SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Para este trabalho, adota-se como ferramenta combinacional de processamento das informações das variáveis de entrada para o cálculo das variáveis de saída a Rede Neural Artificial (RNA). A RNA é adequada para essa aplicação, pois é um modelo combinacional que vem sendo amplamente

utilizado na avaliação e classificação de equipamentos industriais (BEALE e JACKSON, 1990; SABERI e YUSUFF, 2012), e considera as entradas, independente das características e amplitudes, ponderando e combinando seus valores para determinar a saída resultante (WILLIS *et al.*, 1991). Além disso, como o conhecimento dos CPS estão em evolução; a RNA pode ser uma fonte de armazenamento do conhecimento atual, aprendendo a partir disso as novas informações para manter-se sempre atualizada, processando as mais recentes definições (HAYKIN, 2009).

A RNA apresenta um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento por meio da experiência (HAYKIN, 1999). Suas principais características são: generalizar a função de aprendizado para soluções similares as quais foram treinadas e aprender a partir de informações incompletas (HRYCEJ, 1992; TSOUKALAS e UHRIG, 2007). Uma RNA é caracterizada pelos seus elementos fundamentais: neurônios, arquitetura e aprendizagem (FERNANDES, 2003).

O neurônio é a unidade de processamento que simula o comportamento de um neurônio biológico, possui várias entradas, pesos que multiplicam essas entradas, uma função de ativação e uma saída cujo valor depende diretamente da somatória das entradas ponderadas pelos respectivos pesos e pela função de ativação (HAYKIN, 1999). A Figura 32 ilustra um neurônio artificial.

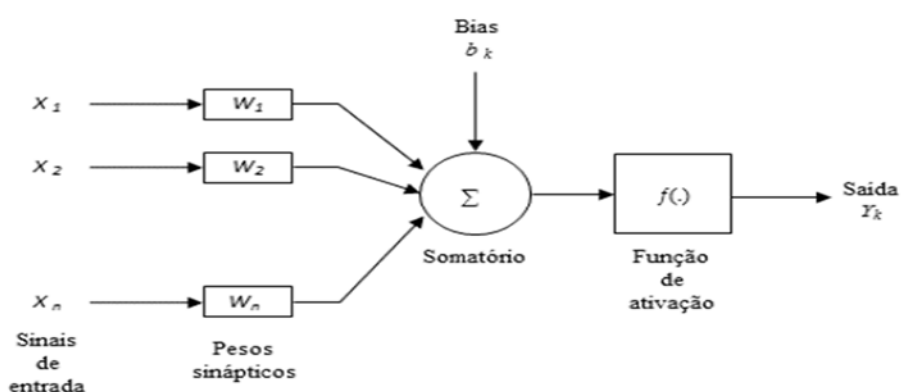


Figura 32 – Neurônio artificial

(traduzido de HAYKIN, 1999)

A arquitetura de uma RNA pode ser representada por um grafo direcionado onde um nó representa um neurônio e as linhas representam as

entradas ou saídas desses neurônios. A RNA é, geralmente, classificada conforme sua arquitetura em: redes de uma única camada, redes de múltiplas camadas e redes recorrentes. As redes de uma única camada são caracterizadas por ter apenas uma camada de neurônios que produzem diretamente a saída a partir das entradas. Já as redes de múltiplas camadas apresentam camadas de neurônios escondidas entre as entradas e os neurônios de saída. As redes recorrentes utilizam as informações (com certo atraso) das saídas como entradas auxiliares para processamento das informações (HAYKIN, 2009). A Figura 33 apresenta as possíveis arquiteturas das RNA por camadas.

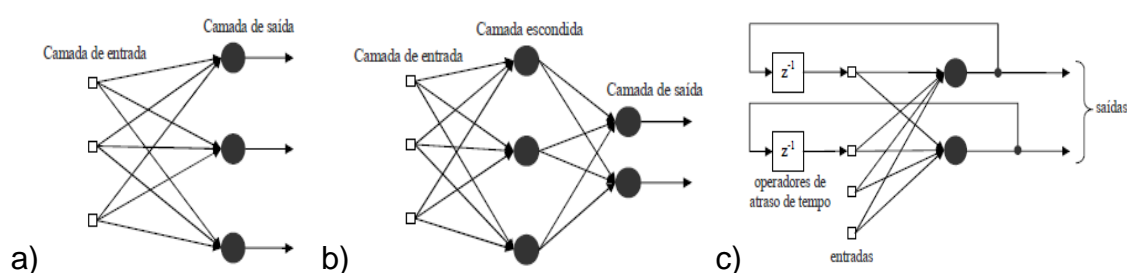


Figura 33 – Arquiteturas das RNA: (a) única, (b) múltiplas e (c) recorrentes  
(traduzido de HAYKIN, 2009)

As técnicas de aprendizagem da RNA seguem a mesma classificação de qualquer tecnologia de aprendizado, a saber: supervisionadas, não-supervisionadas e por reforço. A aprendizagem supervisionada é executada a partir de uma amostra de dados de entrada e saída conhecidos e previamente correlacionados. Já a aprendizagem não-supervisionada é realizada quando não se sabe as saídas, porém a partir de dados de entrada conhecidos a RNA deve encontrar automaticamente suas similaridades/dissimilaridades para associá-las estatisticamente formando suas saídas. Uma aprendizagem por reforço permite que a RNA mapeie a relação entrada-saída por meio de um indicador de desempenho externo ao sistema avaliado (HAYKIN, 2009).

A partir dessas considerações, adota-se neste trabalho a arquitetura de neurônios artificiais de múltipla camadas com aprendizagem supervisionada, denominada Perceptron de Múltiplas Camadas (*Multi-Layer Perceptron* – MLP). A RNA de arquitetura MLP é apropriada para a função de ferramenta de processamento de informações deste trabalho, pois é usualmente empregada

em problemas de mensuração do desempenho de equipamentos e processos industriais (BEALE e JACKSON, 1990; AHMAD, NOOR R e ZHANG, 2009; JANIKOVA e BEZAK, 2016). Além disso, a arquitetura MLP permite simples adequação, por meio do processo de aprendizado, em caso de pequenas alterações da lógica de funcionamento ou de suas entradas e saídas (WILLIS *et al.*, 1991).

A Figura 34 apresenta a RNA como ferramenta combinacional de processamento das informações, onde pode ser observada a arquitetura MLP relacionando as variáveis de entrada e de saída.

Isso atende a um dos objetivos específicos nesta tese, selecionar uma ferramenta de processamento das informações que permita relacionar as tecnologias com as características e o conceito dos CPS.

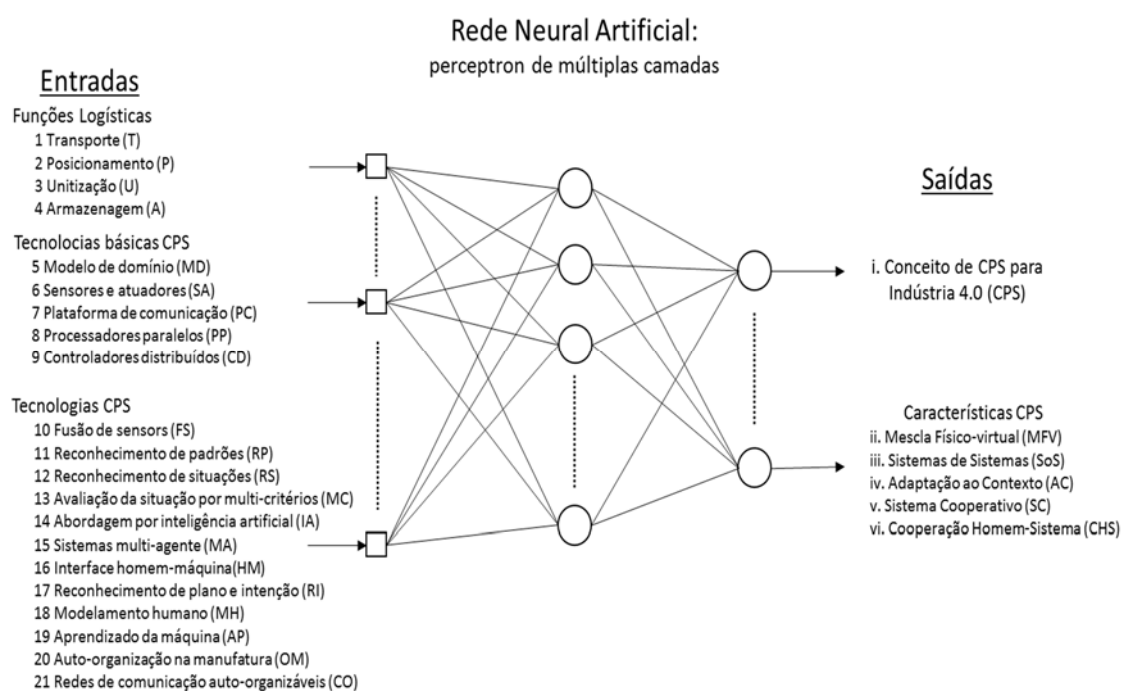


Figura 34 – RNA de arquitetura MLP como ferramenta combinacional de processamento das informações

#### 4.3.2.4 ANÁLISE PELOS PROFISSIONAIS DA INDÚSTRIA E ACADEMIA

O roteiro de coleta dos dados e a ferramenta de processamento das informações, até aqui definidos, são submetidos para análise dos profissionais da indústria e academia.

A análise por profissionais de campo é uma etapa importante para se obter e entender situações em contextos que não foram considerados anteriormente pelas suposições do pesquisador.

Para este trabalho, adota-se uma estrutura de quatro passos para as análises de campo:

- a) definição do objetivo da análise,
- b) seleção da amostra de analisadores,
- c) definição do formato da análise,
- d) apresentação das recomendações dos analisadores.

A partir disso, o objetivo desta análise pelos profissionais da indústria e academia é de compreender a visão de campo sobre a clareza, compreensão e exequibilidade do roteiro de coleta de dados e da ferramenta de processamento das informações propostas.

Os profissionais foram selecionados de acordo com a familiaridade com o assunto e comportamento de interesse similar aos futuros respondentes e usuários do método de avaliação.

Como o objetivo da análise não é estatístico, foram selecionados seis profissionais por conveniência e disponibilidade, a saber:

- um pesquisador sobre Indústria 4.0 e CPS com diversas publicações e parcerias internacionais;
- um pesquisador sobre logística e cadeia de suprimento internacionalmente reconhecido pelas suas publicações;
- um Gerente de Engenharia de um fabricante multinacional de equipamentos para logística com mais de 15 anos de experiência;
- um Gerente de Vendas Técnicas de outro fabricante multinacional de equipamentos para logística com mais de 7 anos de atuação no mercado mundial;
- um Gerente de Logística responsável por mais de 12 anos pelo atendimento à manufatura de uma empresa multinacional com exportações para Américas, África e Europa.



- um Gerente de Operações de um armazém de peças de uma empresa multinacional, com 5 anos de experiência, responsável pelo atendimento de repostos para manutenção nas Américas (do Norte, Central e do Sul).

As análises são estruturadas em ciclos de até uma hora de duração, individualmente com cada profissional, e até que as perspectivas dos profissionais da academia e indústria sejam satisfeitas.

O roteiro de coleta de dados deve ser avaliado quanto à compreensão e clareza das questões referentes às variáveis de entrada com suas respectivas escalas e amplitudes.

A ferramenta de processamento das informações deve ser analisada considerando a exequibilidade para calcular as saídas a partir dos dados coletados pelo roteiro.

Para avaliar e incorporar as análises dos profissionais da indústria e academia foram necessárias duas reuniões com os pesquisadores e uma reunião com cada gerente da indústria. Suas sugestões foram:

- simplificar o roteiro de coleta de dados para apenas uma questão por variável de entrada;
- adequar as questões do roteiro de coleta de dados de uma linguagem acadêmica para linguagem comercial e industrial.

Não houve recomendações sobre a ferramenta de processamento das informações.

As recomendações propostas foram estudadas, avaliadas e incorporadas no método de avaliação em construção.

A partir da incorporação das recomendações, apresenta-se o roteiro de coleta dos dados de entrada finalizado.

Isso atende a um objetivo específico desta tese, criar um roteiro para coleta de dados sobre as tecnologias dos CPS nos equipamentos de logística interna.

**Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0**

Funções Logísticas

**O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:**

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

Tecnologias CPS Básicas

Modelo de Domínio

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

Sensores e atuadores

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

Plataformas de Comunicação

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- Sim - qual rede ? qual arquitetura ?
- |                                     |                                     |                                     |                                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| PAN                                 | LAN                                 | WAN                                 |                                   |
| <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input type="checkbox"/> WiFi       | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input type="checkbox"/> IEC62443 |
| <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input type="checkbox"/> Ethernet   | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> IEC62541 |
| <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11 | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input type="checkbox"/> IEEE1722 |
|                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3  | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |                                   |
| Outra:                              |                                     |                                     | Outra:                            |
- Não

Processadores Paralelos

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 O Sim  
 O Não  
 Outra:  
 Não

Controladores Distribuídos

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 O Sim  
 O Não  
 Outra:  
 Não

**Tecnologias CPS**

**Fusão de Sensores**

**Os sensores do equipamento permitem:**

- 1 verificar a presença dos materiais
- 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)
- 3 identificar a posição do material
- 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)
- 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento

**Reconhecimento de Padrões**

**O equipamento pode:**

- 1 Reconhecer os materiais
- 2 Reconhecer a condição física dos materiais
- 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)
- 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção
- 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere

**Reconhecimento de Situações**

**O equipamento pode:**

- 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca
- 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos
- 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere

**Avaliação Multi-Critérios**

**No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?**

- 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo
- 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência
- 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros
- 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): \_\_\_\_, \_\_\_\_, \_\_\_\_ e \_\_\_\_.

**Inteligência Artificial**

**Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?**

- 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)
- 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning)
- 3 Algoritmos genéticos
- 4 Redes neurais
- 5 Inteligência de enxame

Outra: \_\_\_\_\_

**Sistemas Multi-Agente**

**Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:**

- 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos
- 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos
- 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global

**Interface Homem-Máquina**

**A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:**

- 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário
- 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas
- 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz

|                                     |   |  |
|-------------------------------------|---|--|
| Reconhecimento de Plano e Intenção  | <b>A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:</b> |  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado  |
| Modelamento Humano                  | <b>As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:</b>   |  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário  |
| <input type="checkbox"/>            | 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário   |  |
| Aprendizado da Máquina              | <b>O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:</b>   |  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)                           |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização) |
| Auto-Organização na Manufatura      | <b>O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:</b>   |  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação   |
| <input type="checkbox"/>            | 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos  |  |
| Redes Comunicação Auto-Organizáveis | <b>A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:</b>   |  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados  |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados   |
|                                     | <input type="checkbox"/>  | 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente  |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente                       |  |
|                                     | Outra:  |  |

### 4.3.3 ETAPA DE DESENVOLVIMENTO

A etapa de desenvolvimento do ciclo de projeto é fundamentada nas definições da etapa de sugestão e tem o objetivo de definir o modelo matemático.

#### 4.3.3.1 DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

A partir das definições da etapa de sugestão, foi estabelecido que a ferramenta combinacional de processamento de dados é uma RNA de arquitetura MLP com 21 entradas (4 funções logísticas, 5 tecnologias dos CPS básicas e 12 demais tecnologias dos CPS) e 6 saídas (aderência a 1 conceito de CPS para Indústria 4.0 e às 5 características dos CPS).

Iniciando pelas definições matemáticas das entradas, têm-se que as funções logísticas (entradas de 1 a 4) e as tecnologias CPS básicas (entradas de 5 a 9) são dicotômicas de amplitude unitária e para o propósito desse modelo devem assumir valores binários unitários, ou seja, não=0 e sim=1.

Já para as entradas das demais tecnologias dos CPS (entradas de 10 a 21), por serem escalares com amplitudes diversas, devem assumir o valor correspondente ao nível de desenvolvimento de sua respectiva tecnologia, apresentadas na Seção 4.3.2.1.

As saídas, por serem escalares de amplitude unitária, devem assumir valores entre 0 a 1, ou melhor, de 0% a 100%, tanto para a aderência ao conceito de CPS para a Indústria 4.0, quanto para cada uma das cinco características dos CPS.

Como a RNA definida é uma MLP, deve-se agora definir a quantidade de neurônios da camada escondida, que pode influenciar no erro da resposta na saída e ainda na estabilidade da rede neural (KE e LIU, 2008). Para isso, é adotado o método de Kolmogorov, que determina a quantidade de neurônios na camada escondida de uma MLP assegurando estabilidade (SHEELA e DEEPA, 2013), apresentado pela equação (1) (KURKOVA, 1992):

$$h = 2n + 1 \quad (1)$$

onde:

h = quantidade de neurônios na cada escondida  
n = número de variáveis de entrada da rede neural

Assim, como a MLP proposta possui 21 variáveis de entrada, deve-se estruturar 43 neurônios da camada escondida, como ilustra a equação (2).

$$h = 2 * 21 + 1 \quad \therefore h = 43 \quad (2)$$

Para a construção da MLP, utiliza-se sua expressão matemática funcional (3) (YEGNANARAYANA, 2006; HAYKIN, 2009).

$$Y = f(\sum W X + B) \quad (3)$$

onde:

Y = vetor das saídas  
 X = vetor das entradas  
 B = vetor de *bias*  
 W = matriz de pesos  
 f = função de ativação

Em relação à função de ativação do neurônio, adota-se a tangente hiperbólica tanto na camada escondida quanto nos neurônios de saída (HAYKIN, 1999), pois entende-se que em uma MLP é a melhor função de ativação para se minimizar o erro de saída (SWINGLER, 2001; YEGNANARAYANA, 2006; KARLIK e OLGAC, 2010).

A função de ativação tangente hiperbólica tem faixa de saída de -1 a 1 e pode ser apresentada pela expressão (4) e Figura 35 (ZAMANLOOY e MIRHASSANI, 2014).

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4)$$

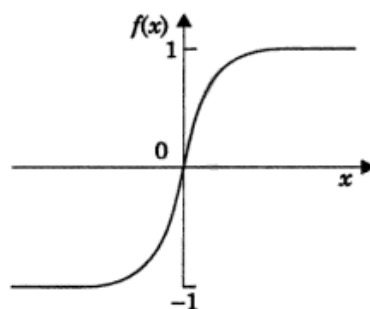


Figura 35 – Função de ativação tangente hiperbólica

Se considerarmos as saídas dos neurônios (tanto da camada escondida como da camada de saída da MLP) com valores definidos entre -1 e 1 e os valores das variáveis de saída escalares e unitários de 0 a 1, temos que a função de ativação de tangente hiperbólica pode ser vista como uma expressão

simplificada, apresentada por (5) (YEGNANARAYANA, 2006; SABERI e YUSUFF, 2012).

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (5)$$

Com isso, adicionando-se a função de ativação de tangente hiperbólica (5) na expressão funcional da MLP (3), obtém-se a expressão matemática da MLP (6).

$$Y = \tanh(\sum W X + B) \quad (6)$$

Complementarmente, como a MLP possui duas camadas de neurônios (camada escondida e camada de saída) e para ambas foi selecionada a função de ativação de tangente hiperbólica, a expressão matemática final é (7):

$$Y = \tanh(\sum W_e \tanh(\sum W_s X + B_s) + B_e) \quad (7)$$

ou, de forma ampliada para aplicação na ferramenta de processamento de dados (8):

$$Y = \frac{2}{1+e^{-2 \sum W_e \left( \frac{2}{1+e^{-2 \sum W_s X + B_s}} - 1 \right) + B_e}} - 1 \quad (8)$$

onde:

- Y = vetor de saídas
- X = vetor de entradas
- $W_e$  = matriz de pesos da camada escondida
- $W_s$  = matriz de pesos da camada de saída
- $B_e$  = vetor de *bias* da camada escondida
- $B_s$  = vetor de *bias* da camada de saída

Para a aplicação dessa expressão (8), tendo a tangente hiperbólica como função de ativação da MLP, com limites de -1 a 1, é necessário normalizar as entradas e, posteriormente, desnormalizar as saídas para os mesmos limites. Com isso, define-se a transformação linear (9), tanto para a normalização, aplicando sobre as entradas para encontrar o vetor X, quanto para a desnormalização, calculando sobre o vetor Y para definir as saídas.

$$S = \frac{(S_{max}-S_{min})*(E-E_{min})}{(E_{max}-E_{min})} + S_{min} \quad (9)$$

onde:

S = saída da transformação linear

E = entrada da transformação linear

S<sub>max</sub> = 1 para normalização / 1 para desnormalização

S<sub>min</sub> = -1 para normalização / 0 para desnormalização

E<sub>max</sub> = máximo da faixa de entrada para normalização / 1 para desnormalização

E<sub>min</sub> = 0 para normalização / -1 para desnormalização

Assim, o modelo matemático é apresentado na Figura 36 a partir da expressão matemática (8).

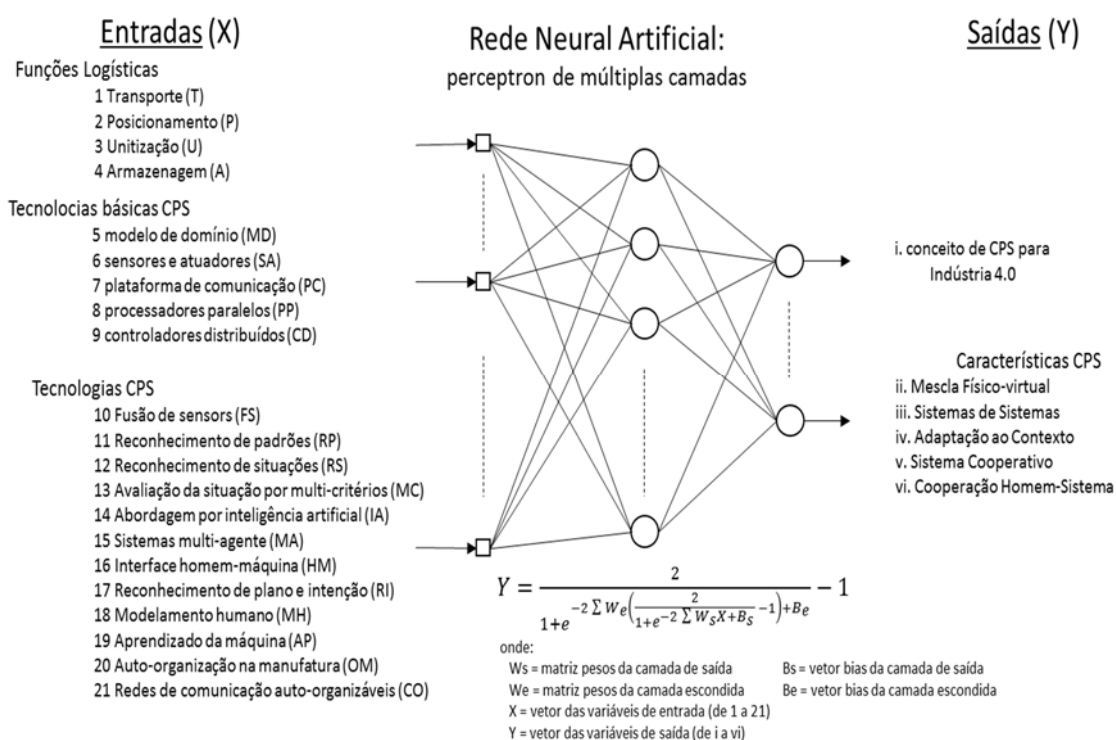


Figura 36 – Modelo matemático

Definido o modelo matemático, por fim deve-se determinar os valores dos pesos (matrizes W) e dos *bias* (vetores B) para apresentar as relações causais entre entradas (vetor X) e saídas (vetor Y). Para isso, a rede neural MLP deve aprender supervisionadamente, a partir de pesos e *bias* iniciais, como recomendado na etapa de sugestão.

Dessa forma, é necessário construir uma amostra de dados para aprendizagem, onde há uma correlação conhecida entre as entradas e as saídas. Assim, estabelecem-se as regras, fundamentadas nos requisitos e



critérios de aceitação do método de avaliação definidos respectivamente nas Seções 4.1.3 e 4.1.4:

- quando todas das funções logísticas (1 a 4) forem 0, todas as saídas (i a iv) são 0: quando todas das funções logísticas (transporte, armazenamento, unitização e armazenagem) forem negadas, descaracteriza-se um equipamento logístico e, portanto, o método de avaliação não deve medir, impondo o valor 0 em suas saídas;
- quando uma das tecnologias básicas dos CPS (5 a 9) for 0, todas as saídas (i a iv) são 0: quando uma das cinco tecnologias básicas dos CPS (MD, AS, PC, PP, CD) não é atendida, descaracteriza-se um equipamento CPS e, portanto, o método de avaliação não deve medir, impondo o valor de 0 em suas saídas;
- para as demais tecnologias CPS (10 a 21), deve-se obter nas saídas referentes às características dos CPS (ii a iv) valores de correlação direta e normalizada dessas entradas: quando as entradas das tecnologias CPS (FS, RP, RS, MC, IA, MA, HM, RI, MH, AP, OM, CO) forem apresentadas, a aderência do equipamento às características dos CPS deve ser uma combinação isonômica e normalizada de cada uma das entradas, seguindo a relação apresentada por Broy, Cengarle e Geisberger (2012) e ilustrada pela Figura 29;
- ainda para as demais tecnologias CPS (10 a 21), deve-se obter na saída referente ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 (i) um valor de correlação direta das saídas relativas às características dos CPS (ii a iv): quando as entradas das tecnologias CPS (FS, RP, RS, MC, IA, MA, HM, RI, MH, AP, OM, CO) forem apresentadas, a aderência do equipamento ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 deve ser uma combinação isonômica das saídas pertinentes às características dos CPS (MFV, SoS, AC, SC, CHS), seguindo a relação apresentada por Broy e Geisberger (2011) e ilustrada pela Figura 30.

A partir das regras definidas, constrói-se a matriz de aprendizado supervisionado da MLP contendo três mil amostras aleatórias, ilustrada pelo Quadro 5.

Quadro 5 – Matriz de amostras para treinamento da MLP

| ENTRADAS           |      |      |      |       |             |       |       |       |        |                 |        |        |       |        |        |        | SAÍDAS     |        |        |        |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|------|------|------|-------|-------------|-------|-------|-------|--------|-----------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Funções Logísticas |      |      |      |       | Básicas CPS |       |       |       |        | Tecnologias CPS |        |        |       |        |        |        | CPS Ind4.0 |        |        |        |       |       |       |       |       |       |
| 1(T)               | 2(P) | 3(U) | 4(A) | 5(MD) | 6(SA)       | 7(PC) | 8(PP) | 9(CD) | 10(FS) | 11(RP)          | 12(RS) | 13(MC) | 14(A) | 15(MA) | 16(HM) | 17(RI) | 18(MH)     | 19(AP) | 20(OM) | 21(CO) | i     | ii    | iii   | iv    | v     | vi    |
| 0                  | 0    | 0    | 0    | X     | X           | X     | X     | X     | X      | X               | X      | X      | X     | X      | X      | X      | X          | X      | X      | X      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| X                  | X    | X    | X    | 0     | X           | X     | X     | X     | X      | X               | X      | X      | X     | X      | X      | X      | X          | X      | X      | X      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| X                  | X    | X    | X    | X     | 0           | X     | X     | X     | X      | X               | X      | X      | X     | X      | X      | X      | X          | X      | X      | X      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| X                  | X    | X    | X    | X     | X           | 0     | X     | X     | X      | X               | X      | X      | X     | X      | X      | X      | X          | X      | X      | X      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| X                  | X    | X    | X    | X     | X           | X     | 0     | X     | X      | X               | X      | X      | X     | X      | X      | X      | X          | X      | X      | X      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| X                  | X    | X    | X    | X     | X           | X     | X     | 0     | X      | X               | X      | X      | X     | X      | X      | X      | X          | X      | X      | X      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 0      | 0               | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0      | 0          | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 1      | 1               | 1      | 1      | 1     | 1      | 1      | 1      | 1          | 1      | 1      | 1      | 0,26  | 0,25  | 0,26  | 0,27  | 0,26  | 0,27  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 2      | 2               | 2      | 2      | 2     | 2      | 2      | 2      | 2          | 2      | 2      | 2      | 0,52  | 0,51  | 0,52  | 0,54  | 0,52  | 0,54  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 3      | 3               | 3      | 3      | 3     | 3      | 3      | 3      | 3          | 3      | 3      | 3      | 0,78  | 0,76  | 0,78  | 0,81  | 0,78  | 0,81  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 4      | 4               | 3      | 4      | 5     | 3      | 3      | 3      | 3          | 3      | 3      | 3      | 0,88  | 0,87  | 0,85  | 0,90  | 0,88  | 0,90  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 5      | 5               | 3      | 4      | 5     | 3      | 3      | 3      | 5          | 3      | 5      | 5      | 0,94  | 1     | 0,92  | 0,94  | 0,92  | 0,93  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 5      | 5               | 3      | 4      | 5     | 3      | 3      | 3      | 6          | 3      | 6      | 5      | 0,95  | 1     | 0,93  | 0,96  | 0,93  | 0,94  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 5      | 5               | 3      | 4      | 5     | 3      | 3      | 3      | 7          | 3      | 7      | 5      | 0,96  | 1     | 0,95  | 0,97  | 0,95  | 0,96  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 5      | 5               | 3      | 4      | 5     | 3      | 3      | 3      | 8          | 3      | 8      | 5      | 0,98  | 1     | 0,97  | 0,98  | 0,97  | 0,97  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 5      | 5               | 3      | 4      | 5     | 3      | 3      | 3      | 9          | 3      | 9      | 5      | 0,99  | 1     | 0,98  | 0,99  | 0,98  | 0,99  |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | .....  | .....           | .....  | .....  | ..... | .....  | .....  | .....  | .....      | .....  | .....  | .....  | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 1                  | ou 1 | ou 1 | ou 1 | 1     | 1           | 1     | 1     | 1     | 5      | 5               | 3      | 4      | 5     | 3      | 3      | 3      | 10         | 3      | 10     | 5      | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |

onde x = indiferente

#### 4.3.4 ETAPA DE AVALIAÇÃO

A etapa de avaliação do ciclo de projeto é fundamentada nas definições da etapa de desenvolvimento e tem o propósito de criar o código computacional do modelo matemático e experimentá-lo para avaliação do atendimento aos critérios de aceitação.

##### 4.3.4.1 CODIFICAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO MATEMÁTICO

No passo de codificação computacional do modelo matemático, adota-se o *software* Matlab r.2017 para o aprendizado da MLP, por sua reconhecida biblioteca de redes neurais e poderosa capacidade de cálculo.

Para codificação do modelo matemático ao algoritmo do Matlab utiliza-se a ferramenta *nntool*, por acessar a biblioteca de redes neurais desse *software* e permitir uma composição amigável da MLP. Com isso, as propriedades da rede neural foram selecionadas: a rede neural é tipo MLP com retropropagação, a camada escondida possui 43 neurônios e a função de ativação é a tangente hiperbólica. As propriedades da função de treinamento, função de adaptação e função de desempenho são padrões do algoritmo do Matlab. Essas propriedades são apresentadas na Figura 37.

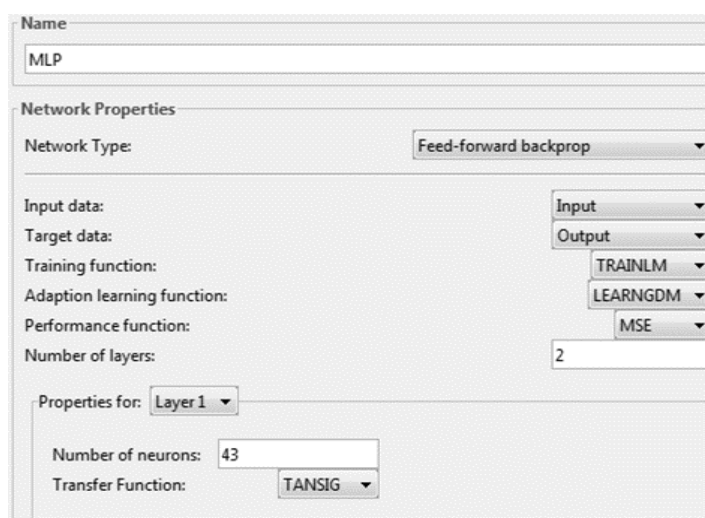


Figura 37 – Propriedades da MLP no Matlab

Assim, a codificação computacional que representa o modelo matemático é estabelecida na Figura 38.

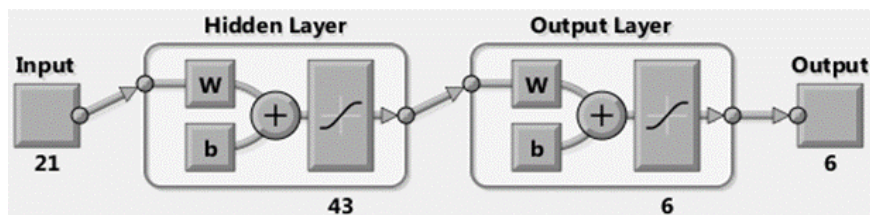


Figura 38 – Código computacional do modelo matemático

A matriz de amostras de aprendizado supervisionado, estabelecida na etapa de desenvolvimento e apresentada no Quadro 5, também é codificada em algoritmo do Matlab para o treinamento da MLP. As informações referentes às 21 entradas são convertidas em vetores denominados *Input* com seus respectivos vetores de saída nomeados de *Output*.

#### 4.3.4.2 EXPERIMENTAÇÃO DO CÓDIGO COMPUTACIONAL

O treinamento da MLP é executado em 997 iterações, com correções dos pesos e *bias* dos neurônios, possibilitando a minimização do erro para 1,3%, abaixo dos 2% definidos para aceitação do método de avaliação. A Figura 39 apresenta o erro quadrático entre a saída da MLP em treinamento e o vetor *Output*, ao longo do aprendizado em cada iteração, sendo  $1,3\%^2 \cong 1,7 \times 10^{-4}$ .

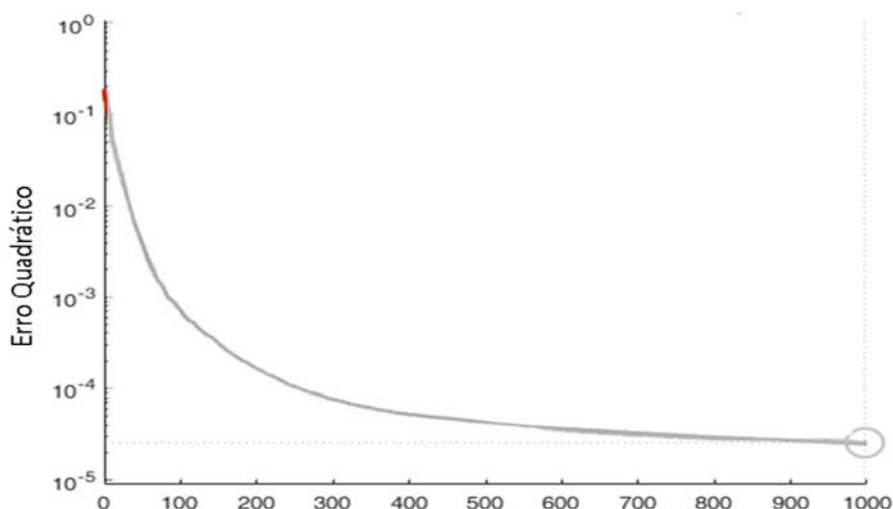


Figura 39 – Erro da MLP ao longo das iterações de aprendizado

A partir do treinamento da MLP, apresenta-se no Quadro 6 e Quadro 7 as matrizes contendo os pesos e *bias* aprendidos por cada neurônio da camada escondida (matriz  $W_e$  e vetor  $B_e$ ) e camada de saída (matriz  $W_s$  e vetor  $B_s$ ), respectivamente.



Quadro 7 – Matriz de pesos (Ws) e vetor de *bias* (Bs) da camada de saída

|   |              |   |              |              |              |              |         |         |
|---|--------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|---------|
| <b>Matriz de Pesos da Camada de Saída</b> |              | <b>Pesos das Conexões entre Neurônios da Camada Escondida e Saída</b> |              |              |              |              |         |         |
|   |              | <b>WSj.43</b>   | 0,0305       | -0,2363      | -1,7694      | 0,0980       | 0,1985  | 0,0327  |
|   |              | <b>WSj.42</b>   | -0,2961      | -0,4402      | -0,6869      | -0,5531      | -0,4789 | -0,3526 |
|   |              | <b>WSj.41</b>   | 0,0002       | 0,0003       | 0,0005       | -0,0002      | 0,0027  | 0,0001  |
|   |              | <b>WSj.40</b>   | 0,0001       | -0,0001      | -0,0001      | 0,0002       | 0,0001  | 0,0000  |
|   |              | <b>WSj.39</b>   | 0,3031       | -0,0017      | 2,6263       | 0,1640       | 0,3011  | -0,0119 |
|   |              | <b>WSj.38</b>   | 1,4281       | 0,8884       | 0,6031       | 1,6344       | 1,5247  | -1,0630 |
|   |              | <b>WSj.37</b>   | -0,2188      | -0,2705      | -0,2187      | -0,5276      | 0,8208  | 0,2983  |
|   |              | <b>WSj.36</b>   | 1,6322       | 1,6681       | 1,5690       | 1,6827       | 1,5223  | 2,0476  |
|   |              | <b>WSj.35</b>   | -1,2472      | -0,9995      | -1,0180      | -1,0953      | -1,2199 | -1,1478 |
|   |              | <b>WSj.34</b>   | 0,0001       | 0,0002       | 0,0001       | 0,0002       | -0,0017 | -0,0002 |
|   |              | <b>WSj.33</b>   | 0,3962       | 0,1657       | 0,7687       | 0,5451       | -3,1695 | 0,3228  |
|   |              | <b>WSj.32</b>   | -0,0001      | 0,0000       | -0,0002      | 0,0000       | -0,0001 | 0,0000  |
|   |              | <b>WSj.31</b>   | 0,0099       | 2,4075       | 0,0079       | -0,0034      | -0,0063 | 0,0038  |
|   |              | <b>WSj.30</b>   | -0,0005      | -0,0016      | -0,0008      | 0,0016       | -0,0017 | 0,0010  |
|   |              | <b>WSj.29</b>   | -0,3691      | -1,2119      | -2,3972      | -1,7658      | -2,3278 | -1,2483 |
|   |              | <b>WSj.28</b>   | 0,0458       | 0,0331       | 0,0126       | -1,0255      | -0,0017 | 0,0495  |
|   |              | <b>WSj.27</b>   | 0,0000       | -0,0001      | 0,0002       | -0,0001      | -0,0004 | -0,0001 |
|   |              | <b>WSj.26</b>   | 0,0013       | 0,0011       | 0,0001       | 0,0014       | -0,0013 | 0,0006  |
|   |              | <b>WSj.25</b>   | 0,0002       | 0,0003       | 0,0004       | 0,0004       | -0,0003 | 0,0001  |
|   |              | <b>WSj.24</b>   | -0,0002      | 0,0001       | 0,0003       | -0,0003      | 0,0002  | -0,0002 |
|   |              | <b>WSj.23</b>   | -0,2065      | 1,8826       | -1,3914      | -0,0354      | -2,2750 | 0,0304  |
|   |              | <b>WSj.22</b>   | 0,1178       | 0,0830       | 0,0702       | 0,1255       | -2,1553 | 0,0287  |
|   |              | <b>WSj.21</b>   | -0,0001      | 0,0006       | -0,0013      | 0,0003       | -0,0006 | -0,0006 |
|   |              | <b>WSj.20</b>   | 0,0002       | 0,0003       | 0,0000       | -0,0001      | 0,0000  | 0,0001  |
|   |              | <b>WSj.19</b>   | 0,0791       | -0,0225      | -0,0215      | 0,0545       | 0,0496  | 1,5943  |
|   |              | <b>WSj.18</b>   | 0,0002       | 0,0003       | 0,0003       | 0,0004       | 0,0006  | 0,0000  |
|   |              | <b>WSj.17</b>   | 0,0003       | 0,0000       | -0,0001      | 0,0004       | 0,0007  | -0,0001 |
|   |              | <b>WSj.16</b>   | -0,1079      | 0,0058       | -1,1733      | -0,0579      | -0,1126 | 0,0009  |
|   |              | <b>WSj.15</b>   | 1,7492       | 0,6288       | 0,3109       | 1,6045       | 2,6814  | 0,3753  |
|   |              | <b>WSj.14</b>   | -0,0001      | -0,0001      | 0,0001       | -0,0002      | -0,0001 | -0,0001 |
|   |              | <b>WSj.13</b>   | 1,0854       | 1,9675       | 0,7025       | -2,1534      | 0,7837  | -0,3967 |
|   |              | <b>WSj.12</b>   | -1,3793      | 0,3487       | 0,6431       | -0,8116      | -0,7522 | -1,6109 |
|   |              | <b>WSj.11</b>   | 0,0005       | 0,0004       | 0,0003       | -0,0004      | -0,0006 | -0,0002 |
|   |              | <b>WSj.10</b>   | 0,0090       | 0,0080       | 0,0076       | 0,0086       | 0,0084  | 0,0092  |
|   |              | <b>WSj.9</b>  | 0,0125       | 0,0186       | -0,3362      | 0,0050       | -0,0061 | -0,0006 |
|   |              | <b>WSj.8</b>  | 0,0472       | 0,0654       | -1,2173      | 0,0223       | -0,0194 | -0,0022 |
|   |              | <b>WSj.7</b>  | -0,0153      | -1,6425      | -0,0032      | 0,0048       | 0,0078  | -0,0025 |
|   |              | <b>WSj.6</b>  | 0,0000       | 0,0000       | -0,0001      | 0,0000       | 0,0007  | -0,0002 |
|   |              | <b>WSj.5</b>  | 0,1349       | -0,0372      | -0,0407      | 0,0626       | 0,0816  | 2,4144  |
|   |              | <b>WSj.4</b>  | 0,8320       | 0,7310       | 0,7034       | 0,7686       | 0,7896  | 0,8559  |
|   |              | <b>WSj.3</b>  | 1,1308       | 0,8268       | 1,1977       | 0,6942       | 0,9650  | 0,2714  |
|   |              | <b>WSj.2</b>  | -0,3827      | -0,1864      | -0,3396      | -0,2316      | -0,3148 | -0,1308 |
| <b>WSj.1</b>                              | -2,0043      | -0,5974   | -1,0572      | -1,5771      | -2,2686      | -0,0020      |         |         |
| <b>Bias</b>                               | <b>WS1.i</b> | <b>WS2.i</b>  | <b>WS3.i</b> | <b>WS4.i</b> | <b>WS5.i</b> | <b>WS6.i</b> |         |         |
|   | -0,2678      | -1,7143   | -0,9599      | -0,7533      | -0,7729      | -1,2498      |         |         |
|   | <b>BS1</b>   | <b>BS2</b>  | <b>BS3</b>   | <b>BS4</b>   | <b>BS5</b>   | <b>BS6</b>   |         |         |

### 4.3.5 ETAPA DE FINALIZAÇÃO

A etapa de finalização do ciclo de projeto é fundamentada nas definições da etapa de avaliação e tem como objetivo apresentar o método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

Dessa forma, a partir das definições da etapa de avaliação, pode-se apresentar a ferramenta completa de processamento das informações, fundamentada na expressão (8) e ilustrada pela Figura 40. Nessa figura pode-se observar que as entradas (1 a 21) são ponderadas pelos pesos ( $W_e$  e  $B_e$ ) dos neurônios da camada escondida e combinadas pelos pesos ( $W_s$  e  $B_s$ ) dos neurônios da camada de saída para calcular as saídas (i a vi). Isso atende ao último objetivo específico desta tese, adaptar a ferramenta de processamento das informações para calcular o grau de aderência do equipamento de logística interna às características e ao conceito de CPS a partir das informações das tecnologias.

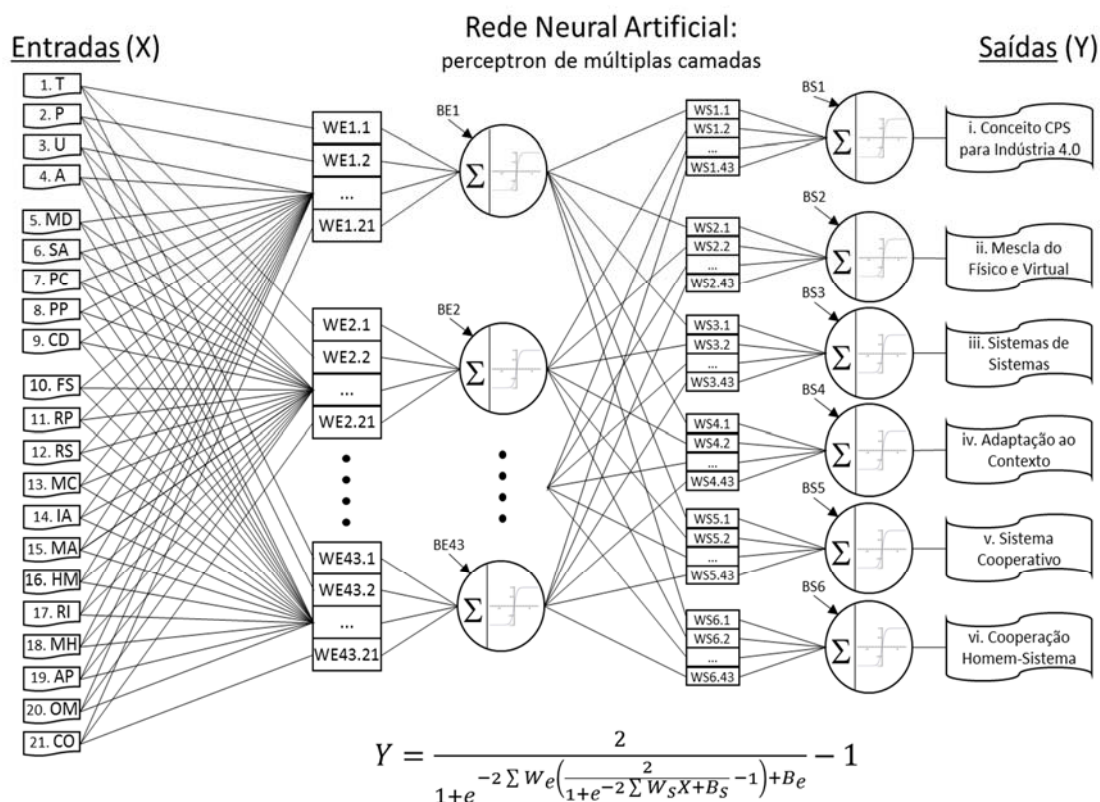


Figura 40 – Ferramenta de processamento das informações

Com isso, a ferramenta de processamento das informações atende aos requisitos e critérios de aceitação definidos na Seção 4.1.3 e 4.1.4 respectivamente, pois tem um erro abaixo de 2% no cálculo da aderência às características e ao conceito de CPS para Indústria 4.0. Além disso, esse método somente avalia o equipamento se possuir pelo menos uma das funções de logística interna e tem características de um método quantitativo.

Assim, mediante o desenvolvido ao longo das etapas do ciclo de projeto, apresenta-se o método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 como a integração do roteiro de coleta de dados (apresentado na Seção 4.3.2.4) à ferramenta de processamento das informações (apresentada pela expressão (8) nesta Seção 4.3.5 e ilustrada na Figura 40).

A partir disso, propõem-se a aplicação do método de avaliação em dois passos, apresentados na Figura 41.

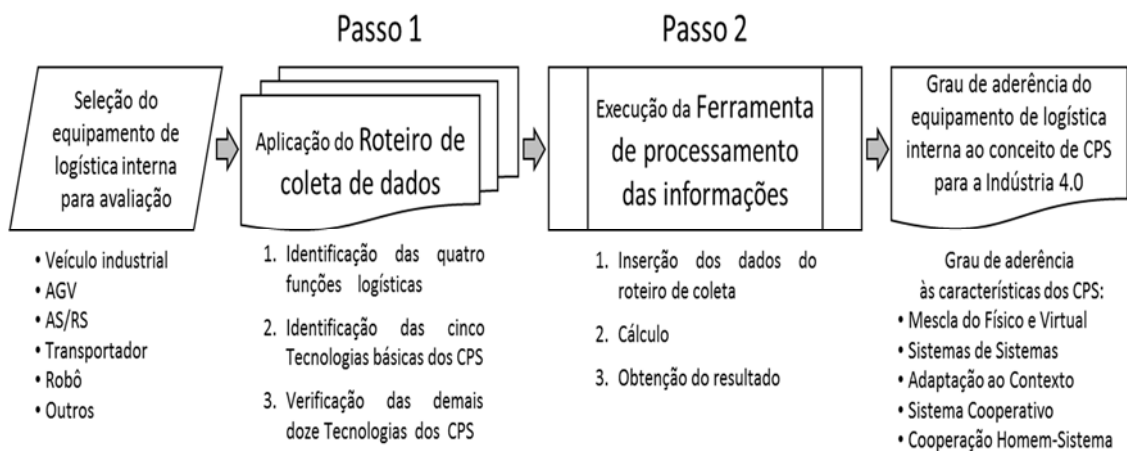


Figura 41 – Passos do método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

Anteriormente ao primeiro passo, o equipamento a ser avaliado deve ser selecionado.

No primeiro passo, o roteiro deve ser aplicado por um entrevistador, com conhecimento prévio de cada tecnologia de CPS, ao equipamento que se deseja avaliar para coletar os dados de suas funções logísticas e tecnologias embarcadas. A aplicação das questões do roteiro ao equipamento pelo



entrevistador devem ser suportadas por um representante técnico de vendas e/ou da engenharia do produto do fabricante para apresentar e discutir as tecnologias e características do equipamento analisado. Ainda, sempre que possível, o entrevistador deve observar o funcionamento do equipamento para uma identificação e verificação mais objetiva das tecnologias dos CPS.

No segundo passo, os dados coletados são fornecidos como entradas da ferramenta de processamento das informações para o cálculo das saídas. Com isso obtém-se o resultado da avaliação.

A partir do segundo passo, o método de avaliação apresenta o grau de aderência do equipamento avaliado ao conceito de CPS para a Indústria 4.0. Como um resultado complementar, o método de avaliação apresenta ainda o grau de aderência do equipamento analisado a cada uma das cinco características dos CPS.

## 5 APLICAÇÕES DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO E SIMULAÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as aplicações do método de avaliação em equipamentos logísticos de reconhecidos fabricantes multinacionais com o propósito de analisar a aplicabilidade de sua utilização. Ainda nesse capítulo, são demonstradas, por simulações de eventos discretos, os resultados operacionais que esses equipamentos avaliados pelo método proposto podem apresentar em um processo de logística interna típico.

### 5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Nesta seção são apresentados o planejamento, a execução e a discussão da aplicação do método de avaliação, conforme definido nos passos do desenvolvimento desta pesquisa (Figura 23).

#### 5.1.1 PLANEJAMENTO

O método de avaliação desenvolvido no capítulo anterior é aplicável a qualquer equipamento de logística interna. Entretanto, para fins de aplicação do método de avaliação proposto, são selecionados somente os equipamentos passíveis de ser CPS, definidos na Seção 4.1.2, sendo: veículos industriais (empilhadeiras), AGV, AS/RS, transportadores (*conveyor*) e robôs.

Os equipamentos escolhidos são produtos de reconhecidas empresas multinacionais de soluções em logística. Essas empresas foram recomendadas por profissionais da indústria e da academia e, então, definidas após comprovação em seus respectivos catálogos de produtos que seus equipamentos foram desenvolvidos para operar em processos da Indústria 4.0. A partir disso, os equipamentos de logística selecionados para a aplicação do método de avaliação foram indicados pelo próprio fabricante, que declara que esses produtos foram devidamente projetados para suportar, atender e operar na Indústria 4.0.

Assim, foram selecionados onze fabricantes que indicaram seus respectivos equipamentos, apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Equipamentos logísticos para aplicação do método de avaliação

|                          | Empilhadeira | AGV   | AS/RS | Transportador | Robô |
|--------------------------|--------------|-------|-------|---------------|------|
| Equipamento (Fabricante) | A (1)        |       |       |               |      |
|                          | B (2)        |       |       |               |      |
|                          | C (3)        |       |       |               |      |
|                          |              | D (1) |       |               |      |
|                          |              | E (2) |       |               |      |
|                          |              | F (3) |       |               |      |
|                          |              |       | G (3) |               |      |
|                          |              |       | H (4) |               |      |
|                          |              |       | I (5) |               |      |
|                          |              |       |       | J (6)         |      |
|                          |              |       |       | K (7)         |      |
|                          |              |       | L (8) |               |      |
|                          |              |       |       | M (9)         |      |
|                          |              |       |       | N (10)        |      |
|                          |              |       |       | O (11)        |      |

O primeiro fabricante indicou uma empilhadeira (equipamento A) elétrica com capacidade de carga de 2t em que o sistema integrado por duas câmeras transporta o veículo e unitiza os materiais de forma automática, necessitando de um mínimo de infraestrutura para sua operação.

Já o segundo fabricante recomendou uma empilhadeira (equipamento B) elétrica com capacidade de 2t e com um sistema composto por três câmeras que permite ao veículo transportar e unitizar os materiais de forma automática, sem nenhuma infraestrutura adicional.

Por sua vez, o terceiro fabricante indicou uma empilhadeira (equipamento C) elétrica com capacidade de 2t em que seu sistema de controle com três câmeras integrado ao sistema de gerenciamento do processo logístico pode transportar e unitizar os materiais automaticamente, sem a necessidade de infraestrutura adicional, e ainda se adaptar para buscar rotas de operação mais eficientes.

Os AGV (equipamentos D, E e F) foram recomendados respectivamente pelos fabricantes 1, 2 e 3 e, da mesma forma, também possuem propriedades similares a dos sistemas de transporte das empilhadeiras. Os AGV são elétricos e possuem capacidade de reboque de 2t.

O equipamento G, um AS/RS, foi indicado pelo terceiro fabricante e possui estantes com diferentes níveis de estocagem onde torres móveis executam a função de armazenamento a 6m/s de forma automática, conforme sua programação, podendo otimizar a alocação dos materiais.

Já o equipamento H (AS/RS), recomendado pelo quarto fabricante, é composto por estantes verticais móveis, onde estão os materiais, em que carros trasladando a 2m/s as movimentam e armazenam por todo o espaço do estoque, conforme seu programa de otimização.

Por sua vez, o equipamento I (AS/RS), indicado pelo quinto fabricante, possui estantes aglomeradas entre si como um bloco, em que carros com velocidade de 2m/s operam em enxame pela superfície dessas estantes para um armazenamento dos materiais mais eficiente.

O sexto fabricante indicou um transportador (equipamento J) de roletes dotado de diversos sensores de materiais e com flexibilidade em sua configuração (e reconfiguração) para atender as necessidades de transporte desses materiais em velocidades de até 2,5m/s.

Já o sétimo fabricante recomendou um transportador (equipamento K) composto roletes móveis dispostos em três sentidos diferentes, em que o sistema de controle composto por câmeras ao longo desse equipamento permite transportar a 2,5m/s e posicionar os materiais da forma necessária para atender a operação.

Por sua vez, o oitavo fabricante indicou um transportador de 2,5m/s (equipamento L) composto por segmentos de roletes de operação independente e um sistema de câmeras ao longo do transportador que pode otimizar o transporte e posicionamento dos materiais para melhorar a eficiência da operação em que está inserido.

O robô M foi recomendado pelo nono fabricante. Esse equipamento possui uma câmera que controla um braço com articulações, com capacidade de carga de 20kg e 30 ciclos/minuto, e um conjunto de diversas garras, que é selecionada dependendo do tipo e formato do material a ser posicionado ou unitizado.

Já o robô N foi indicado pelo décimo fabricante, em que uma câmera permite ao controle deste equipamento operar um braço articulado, de capacidade de 18kg a 35 ciclos/minuto, com uma garra de três distintos dispositivos pneumáticos por sucção. O dispositivo pneumático mais adequado

para o tipo e formato do material a ser posicionado ou unitizado é selecionado para a operação.

Por fim, o robô O foi recomendado pelo décimo primeiro fabricante. Esse equipamento é composto por um braço articulado com três pinças de três articulações cada (operando como dedos). O sistema de controle de duas câmeras permite uma movimentação antecipada e adequada do braço e suas pinças para uma melhor eficiência no posicionamento e unitização dos materiais. Esse equipamento possui capacidade de carga de 20kg operando a 35 ciclos/minuto.

### **5.1.2 EXECUÇÃO**

O método de avaliação é aplicado em cada um dos equipamentos identificados, seguindo os passos recomendados na Figura 41.

Assim, a aplicação do roteiro de coleta dos dados se dá pela análise dos catálogos e entrevistas pessoais com os representantes técnicos e engenheiros de venda dos fabricantes selecionados. Os roteiros devidamente preenchidos são apresentados no apêndice A.

Durante a entrevista de coleta dos dados dos equipamentos foi possível observar que muitos representantes técnicos dos fabricantes selecionados, assim como seus departamentos de engenharia, não estão cientes ou familiarizados com as tecnologias que compõem um CPS. Para auxiliar esses profissionais a fornecer a resposta mais adequada às questões do roteiro de coleta de dados, foi necessário fornecer detalhes das tecnologias de um CPS e apresentar exemplos de aplicação dessas tecnologias. Também, a análise do funcionamento do equipamento em si foi de grande auxílio para garantir a confiabilidade das respostas por meio de evidências objetivas.

Com isso, o método de avaliação apresenta, para cada equipamento logístico avaliado, um relatório com o resumo dos dados coletados e os resultados de aderência desse equipamento às características e ao conceito de CPS para Indústria 4.0, apresentados da Figura 42 a Figura 56.

| Equipamento A - Empilhadeira 1 |   |                               |        |
|--------------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b>       |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                          | 1 | i - CPS                       | 42,57% |
| 2 - P                          | 0 |                               |        |
| 3 - U                          | 1 | ii - MFV                      | 46,92% |
| 4 - A                          | 0 | iii - SoS                     | 40,81% |
| 5 - MD                         | 1 | iv - AC                       | 36,80% |
| 6 - AS                         | 1 | v - SC                        | 40,92% |
| 7 - PC                         | 1 | vi - CHS                      | 44,04% |
| 8 - PP                         | 1 |                               |        |
| 9 - CD                         | 1 |                               |        |
| 10 - FS                        | 3 |                               |        |
| 11 - RP                        | 1 |                               |        |
| 12 - RS                        | 1 |                               |        |
| 13 - MC                        | 3 |                               |        |
| 14 - IA                        | 1 |                               |        |
| 15 - MA                        | 1 |                               |        |
| 16 - HM                        | 1 |                               |        |
| 17 - RI                        | 1 |                               |        |
| 18 - MH                        | 8 |                               |        |
| 19 - AP                        | 1 |                               |        |
| 20 - OM                        | 5 |                               |        |
| 21 - CO                        | 3 |                               |        |

Figura 42 – Relatório de avaliação da empilhadeira do fabricante A

| Equipamento B - Empilhadeira 2 |   |                               |        |
|--------------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b>       |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                          | 1 | i - CPS                       | 48,20% |
| 2 - P                          | 0 |                               |        |
| 3 - U                          | 1 | ii - MFV                      | 51,10% |
| 4 - A                          | 0 | iii - SoS                     | 48,32% |
| 5 - MD                         | 1 | iv - AC                       | 41,87% |
| 6 - AS                         | 1 | v - SC                        | 48,34% |
| 7 - PC                         | 1 | vi - CHS                      | 47,61% |
| 8 - PP                         | 1 |                               |        |
| 9 - CD                         | 1 |                               |        |
| 10 - FS                        | 3 |                               |        |
| 11 - RP                        | 1 |                               |        |
| 12 - RS                        | 1 |                               |        |
| 13 - MC                        | 4 |                               |        |
| 14 - IA                        | 1 |                               |        |
| 15 - MA                        | 1 |                               |        |
| 16 - HM                        | 1 |                               |        |
| 17 - RI                        | 1 |                               |        |
| 18 - MH                        | 8 |                               |        |
| 19 - AP                        | 1 |                               |        |
| 20 - OM                        | 7 |                               |        |
| 21 - CO                        | 3 |                               |        |

Figura 43 – Relatório de avaliação da empilhadeira do fabricante B

| Equipamento C - Empilhadeira 3 |   |                               |        |
|--------------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b>       |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                          | 1 | i - CPS                       | 65,56% |
| 2 - P                          | 0 |                               |        |
| 3 - U                          | 1 | ii - MFV                      | 66,68% |
| 4 - A                          | 0 | iii - SoS                     | 72,76% |
| 5 - MD                         | 1 | iv - AC                       | 60,36% |
| 6 - AS                         | 1 | v - SC                        | 66,19% |
| 7 - PC                         | 1 | vi - CHS                      | 56,69% |
| 8 - PP                         | 1 |                               |        |
| 9 - CD                         | 1 |                               |        |
| 10 - FS                        | 3 |                               |        |
| 11 - RP                        | 4 |                               |        |
| 12 - RS                        | 1 |                               |        |
| 13 - MC                        | 4 |                               |        |
| 14 - IA                        | 2 |                               |        |
| 15 - MA                        | 2 |                               |        |
| 16 - HM                        | 1 |                               |        |
| 17 - RI                        | 1 |                               |        |
| 18 - MH                        | 9 |                               |        |
| 19 - AP                        | 2 |                               |        |
| 20 - OM                        | 9 |                               |        |
| 21 - CO                        | 3 |                               |        |

Figura 44 – Relatório de avaliação da empilhadeira do fabricante C

Nos relatórios apresentados da Figura 42 a Figura 44 é possível observar o resultado da aderência ao conceito de CPS das empilhadeiras avaliadas. Esse resultado é de 42,57% para o fabricante A, 48,20% para o B e 65,56% para o C.

| Equipamento D - AGV 1    |   |                               |        |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 1 | i - CPS                       | 37,21% |
| 2 - P                    | 0 |                               |        |
| 3 - U                    | 0 | ii - MFV                      | 40,27% |
| 4 - A                    | 0 | iii - SoS                     | 35,28% |
| 5 - MD                   | 1 | iv - AC                       | 33,06% |
| 6 - AS                   | 1 | v - SC                        | 35,31% |
| 7 - PC                   | 1 | vi - CHS                      | 39,28% |
| 8 - PP                   | 1 |                               |        |
| 9 - CD                   | 1 |                               |        |
| 10 - FS                  | 1 |                               |        |
| 11 - RP                  | 1 |                               |        |
| 12 - RS                  | 1 |                               |        |
| 13 - MC                  | 3 |                               |        |
| 14 - IA                  | 1 |                               |        |
| 15 - MA                  | 1 |                               |        |
| 16 - HM                  | 1 |                               |        |
| 17 - RI                  | 1 |                               |        |
| 18 - MH                  | 8 |                               |        |
| 19 - AP                  | 0 |                               |        |
| 20 - OM                  | 5 |                               |        |
| 21 - CO                  | 3 |                               |        |

Figura 45 – Relatório de avaliação do AGV do fabricante D

| Equipamento E - AGV 2    |   |                               |        |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 1 | i - CPS                       | 46,86% |
| 2 - P                    | 0 |                               |        |
| 3 - U                    | 0 | ii - MFV                      | 44,43% |
| 4 - A                    | 0 | iii - SoS                     | 48,32% |
| 5 - MD                   | 1 | iv - AC                       | 41,87% |
| 6 - AS                   | 1 | v - SC                        | 48,30% |
| 7 - PC                   | 1 | vi - CHS                      | 47,61% |
| 8 - PP                   | 1 |                               |        |
| 9 - CD                   | 1 |                               |        |
| 10 - FS                  | 1 |                               |        |
| 11 - RP                  | 1 |                               |        |
| 12 - RS                  | 1 |                               |        |
| 13 - MC                  | 4 |                               |        |
| 14 - IA                  | 1 |                               |        |
| 15 - MA                  | 1 |                               |        |
| 16 - HM                  | 1 |                               |        |
| 17 - RI                  | 1 |                               |        |
| 18 - MH                  | 8 |                               |        |
| 19 - AP                  | 1 |                               |        |
| 20 - OM                  | 7 |                               |        |
| 21 - CO                  | 3 |                               |        |

Figura 46 – Relatório de avaliação do AGV do fabricante E

| Equipamento F - AGV 3    |   |                               |        |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 1 | i - CPS                       | 58,80% |
| 2 - P                    | 0 |                               |        |
| 3 - U                    | 0 | ii - MFV                      | 50,05% |
| 4 - A                    | 0 | iii - SoS                     | 62,79% |
| 5 - MD                   | 1 | iv - AC                       | 53,73% |
| 6 - AS                   | 1 | v - SC                        | 66,15% |
| 7 - PC                   | 1 | vi - CHS                      | 56,68% |
| 8 - PP                   | 1 |                               |        |
| 9 - CD                   | 1 |                               |        |
| 10 - FS                  | 1 |                               |        |
| 11 - RP                  | 1 |                               |        |
| 12 - RS                  | 1 |                               |        |
| 13 - MC                  | 4 |                               |        |
| 14 - IA                  | 2 |                               |        |
| 15 - MA                  | 2 |                               |        |
| 16 - HM                  | 1 |                               |        |
| 17 - RI                  | 1 |                               |        |
| 18 - MH                  | 9 |                               |        |
| 19 - AP                  | 2 |                               |        |
| 20 - OM                  | 9 |                               |        |
| 21 - CO                  | 3 |                               |        |

Figura 47 – Relatório de avaliação do AGV do fabricante F

Para os AGV, observa-se nos relatórios da Figura 45 a Figura 47 que os resultados da aderência ao conceito de CPS desses equipamentos são de 37,21%, 46,86% e 58,80% respectivamente para os fabricantes D, E e F.

| Equipamento G - AS/RS 1  |   |                               |        |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 0 | i - CPS                       | 34,83% |
| 2 - P                    | 0 |                               |        |
| 3 - U                    | 0 | ii - MFV                      | 32,01% |
| 4 - A                    | 1 | iii - SoS                     | 33,08% |
| 5 - MD                   | 1 | iv - AC                       | 31,59% |
| 6 - AS                   | 1 | v - SC                        | 33,06% |
| 7 - PC                   | 1 | vi - CHS                      | 41,65% |
| 8 - PP                   | 1 |                               |        |
| 9 - CD                   | 1 |                               |        |
| 10 - FS                  | 1 |                               |        |
| 11 - RP                  | 1 |                               |        |
| 12 - RS                  | 1 |                               |        |
| 13 - MC                  | 1 |                               |        |
| 14 - IA                  | 1 |                               |        |
| 15 - MA                  | 1 |                               |        |
| 16 - HM                  | 1 |                               |        |
| 17 - RI                  | 1 |                               |        |
| 18 - MH                  | 8 |                               |        |
| 19 - AP                  | 2 |                               |        |
| 20 - OM                  | 2 |                               |        |
| 21 - CO                  | 3 |                               |        |

Figura 48 – Relatório de avaliação do AS/RS do fabricante G

| Equipamento H - AS/RS 2  |   |                               |        |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 0 | i - CPS                       | 65,60% |
| 2 - P                    | 0 |                               |        |
| 3 - U                    | 0 | ii - MFV                      | 55,61% |
| 4 - A                    | 1 | iii - SoS                     | 68,30% |
| 5 - MD                   | 1 | iv - AC                       | 59,56% |
| 6 - AS                   | 1 | v - SC                        | 75,23% |
| 7 - PC                   | 1 | vi - CHS                      | 64,28% |
| 8 - PP                   | 1 |                               |        |
| 9 - CD                   | 1 |                               |        |
| 10 - FS                  | 1 |                               |        |
| 11 - RP                  | 1 |                               |        |
| 12 - RS                  | 2 |                               |        |
| 13 - MC                  | 4 |                               |        |
| 14 - IA                  | 3 |                               |        |
| 15 - MA                  | 2 |                               |        |
| 16 - HM                  | 1 |                               |        |
| 17 - RI                  | 1 |                               |        |
| 18 - MH                  | 9 |                               |        |
| 19 - AP                  | 2 |                               |        |
| 20 - OM                  | 9 |                               |        |
| 21 - CO                  | 3 |                               |        |

Figura 49 – Relatório de avaliação do AS/RS do fabricante H

| Equipamento I - AS/RS 3  |    |                               |        |
|--------------------------|----|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |    | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 0  | i - CPS                       | 87,31% |
| 2 - P                    | 0  |                               |        |
| 3 - U                    | 0  | ii - MFV                      | 75,48% |
| 4 - A                    | 1  | iii - SoS                     | 86,01% |
| 5 - MD                   | 1  | iv - AC                       | 83,81% |
| 6 - AS                   | 1  | v - SC                        | 94,50% |
| 7 - PC                   | 1  | vi - CHS                      | 90,81% |
| 8 - PP                   | 1  |                               |        |
| 9 - CD                   | 1  |                               |        |
| 10 - FS                  | 2  |                               |        |
| 11 - RP                  | 1  |                               |        |
| 12 - RS                  | 3  |                               |        |
| 13 - MC                  | 4  |                               |        |
| 14 - IA                  | 5  |                               |        |
| 15 - MA                  | 3  |                               |        |
| 16 - HM                  | 2  |                               |        |
| 17 - RI                  | 2  |                               |        |
| 18 - MH                  | 10 |                               |        |
| 19 - AP                  | 3  |                               |        |
| 20 - OM                  | 9  |                               |        |
| 21 - CO                  | 3  |                               |        |

Figura 50 – Relatório de avaliação do AS/RS do fabricante I

Já para os AS/RS, os relatórios da Figura 48 a Figura 50 apresentam que a aderência ao conceito de CPS dos equipamentos avaliados é de 34,83% para o fabricante G, de 65,60% para o H e, por sua vez, de 87,31% para o I.



| Equipamento J - Transportador 1 |   |                               |        |
|---------------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b>        |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                           | 1 | i - CPS                       | 45,43% |
| 2 - P                           | 0 |                               |        |
| 3 - U                           | 0 | ii - MFV                      | 47,77% |
| 4 - A                           | 0 | iii - SoS                     | 44,97% |
| 5 - MD                          | 1 | iv - AC                       | 39,62% |
| 6 - AS                          | 1 | v - SC                        | 45,01% |
| 7 - PC                          | 1 | vi - CHS                      | 46,18% |
| 8 - PP                          | 1 |                               |        |
| 9 - CD                          | 1 |                               |        |
| 10 - FS                         | 2 |                               |        |
| 11 - RP                         | 1 |                               |        |
| 12 - RS                         | 1 |                               |        |
| 13 - MC                         | 4 |                               |        |
| 14 - IA                         | 1 |                               |        |
| 15 - MA                         | 1 |                               |        |
| 16 - HM                         | 1 |                               |        |
| 17 - RI                         | 1 |                               |        |
| 18 - MH                         | 7 |                               |        |
| 19 - AP                         | 1 |                               |        |
| 20 - OM                         | 5 |                               |        |
| 21 - CO                         | 3 |                               |        |

Figura 51 – Relatório de avaliação do transportador do fabricante J

| Equipamento K - Transportador 2 |    |                               |        |
|---------------------------------|----|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b>        |    | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                           | 1  | i - CPS                       | 64,69% |
| 2 - P                           | 1  |                               |        |
| 3 - U                           | 0  | ii - MFV                      | 62,26% |
| 4 - A                           | 0  | iii - SoS                     | 64,99% |
| 5 - MD                          | 1  | iv - AC                       | 55,20% |
| 6 - AS                          | 1  | v - SC                        | 68,40% |
| 7 - PC                          | 1  | vi - CHS                      | 67,60% |
| 8 - PP                          | 1  |                               |        |
| 9 - CD                          | 1  |                               |        |
| 10 - FS                         | 3  |                               |        |
| 11 - RP                         | 1  |                               |        |
| 12 - RS                         | 3  |                               |        |
| 13 - MC                         | 4  |                               |        |
| 14 - IA                         | 2  |                               |        |
| 15 - MA                         | 1  |                               |        |
| 16 - HM                         | 1  |                               |        |
| 17 - RI                         | 1  |                               |        |
| 18 - MH                         | 10 |                               |        |
| 19 - AP                         | 2  |                               |        |
| 20 - OM                         | 7  |                               |        |
| 21 - CO                         | 3  |                               |        |

Figura 52 – Relatório de avaliação do transportador do fabricante K

| Equipamento L - Transportador 3 |   |                               |        |
|---------------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b>        |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                           | 1 | i - CPS                       | 79,04% |
| 2 - P                           | 1 |                               |        |
| 3 - U                           | 0 | ii - MFV                      | 73,46% |
| 4 - A                           | 0 | iii - SoS                     | 85,11% |
| 5 - MD                          | 1 | iv - AC                       | 73,30% |
| 6 - AS                          | 1 | v - SC                        | 84,82% |
| 7 - PC                          | 1 | vi - CHS                      | 72,99% |
| 8 - PP                          | 1 |                               |        |
| 9 - CD                          | 1 |                               |        |
| 10 - FS                         | 3 |                               |        |
| 11 - RP                         | 4 |                               |        |
| 12 - RS                         | 3 |                               |        |
| 13 - MC                         | 3 |                               |        |
| 14 - IA                         | 4 |                               |        |
| 15 - MA                         | 2 |                               |        |
| 16 - HM                         | 1 |                               |        |
| 17 - RI                         | 1 |                               |        |
| 18 - MH                         | 9 |                               |        |
| 19 - AP                         | 3 |                               |        |
| 20 - OM                         | 9 |                               |        |
| 21 - CO                         | 3 |                               |        |

Figura 53 – Relatório de avaliação do transportador do fabricante L

Nos relatórios de avaliação dos transportadores da Figura 51 a Figura 53, observa-se a aderência ao conceito de CPS de 45,43%, 64,69% e 79,04% para os equipamentos dos fabricantes J, K e L, respectivamente.

| Equipamento M - Robô 1   |   |                               |        |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 0 | i - CPS                       | 30,63% |
| 2 - P                    | 1 | ii - MFV                      | 35,39% |
| 3 - U                    | 1 | iii - SoS                     | 25,77% |
| 4 - A                    | 0 | iv - AC                       | 26,82% |
| 5 - MD                   | 1 | v - SC                        | 25,76% |
| 6 - AS                   | 1 | vi - CHS                      | 36,90% |
| 7 - PC                   | 1 |                               |        |
| 8 - PP                   | 1 |                               |        |
| 9 - CD                   | 1 |                               |        |
| 10 - FS                  | 2 |                               |        |
| 11 - RP                  | 1 |                               |        |
| 12 - RS                  | 1 |                               |        |
| 13 - MC                  | 1 |                               |        |
| 14 - IA                  | 1 |                               |        |
| 15 - MA                  | 1 |                               |        |
| 16 - HM                  | 1 |                               |        |
| 17 - RI                  | 1 |                               |        |
| 18 - MH                  | 8 |                               |        |
| 19 - AP                  | 1 |                               |        |
| 20 - OM                  | 1 |                               |        |
| 21 - CO                  | 3 |                               |        |

Figura 54 – Relatório de avaliação do robô do fabricante M

| Equipamento N - Robô 2   |   |                               |        |
|--------------------------|---|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |   | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 0 | i - CPS                       | 60,92% |
| 2 - P                    | 1 | ii - MFV                      | 58,08% |
| 3 - U                    | 1 | iii - SoS                     | 57,54% |
| 4 - A                    | 0 | iv - AC                       | 54,62% |
| 5 - MD                   | 1 | v - SC                        | 67,58% |
| 6 - AS                   | 1 | vi - CHS                      | 62,16% |
| 7 - PC                   | 1 |                               |        |
| 8 - PP                   | 1 |                               |        |
| 9 - CD                   | 1 |                               |        |
| 10 - FS                  | 3 |                               |        |
| 11 - RP                  | 1 |                               |        |
| 12 - RS                  | 2 |                               |        |
| 13 - MC                  | 3 |                               |        |
| 14 - IA                  | 4 |                               |        |
| 15 - MA                  | 2 |                               |        |
| 16 - HM                  | 1 |                               |        |
| 17 - RI                  | 1 |                               |        |
| 18 - MH                  | 8 |                               |        |
| 19 - AP                  | 2 |                               |        |
| 20 - OM                  | 5 |                               |        |
| 21 - CO                  | 3 |                               |        |

Figura 55 – Relatório de avaliação do robô do fabricante N

| Equipamento O - Robô 3   |    |                               |        |
|--------------------------|----|-------------------------------|--------|
| <b>Resumo do Roteiro</b> |    | <b>Resultado da Avaliação</b> |        |
| 1 - T                    | 0  | i - CPS                       | 91,23% |
| 2 - P                    | 1  | ii - MFV                      | 86,08% |
| 3 - U                    | 1  | iii - SoS                     | 93,90% |
| 4 - A                    | 0  | iv - AC                       | 88,39% |
| 5 - MD                   | 1  | v - SC                        | 94,03% |
| 6 - AS                   | 1  | vi - CHS                      | 87,97% |
| 7 - PC                   | 1  |                               |        |
| 8 - PP                   | 1  |                               |        |
| 9 - CD                   | 1  |                               |        |
| 10 - FS                  | 3  |                               |        |
| 11 - RP                  | 4  |                               |        |
| 12 - RS                  | 3  |                               |        |
| 13 - MC                  | 4  |                               |        |
| 14 - IA                  | 4  |                               |        |
| 15 - MA                  | 3  |                               |        |
| 16 - HM                  | 2  |                               |        |
| 17 - RI                  | 2  |                               |        |
| 18 - MH                  | 10 |                               |        |
| 19 - AP                  | 3  |                               |        |
| 20 - OM                  | 9  |                               |        |
| 21 - CO                  | 3  |                               |        |

Figura 56 – Relatório de avaliação do robô do fabricante O

Por fim, nos relatórios apresentados da Figura 54 a Figura 56 observa-se a aderência ao conceito de CPS de 30,63% para o robô do fabricante M, de 60,92% para o N e de 91,23% para o O. Para esses robôs, comparando-se o

equipamento do fabricante O com o do M, também se verifica uma diferença de aproximadamente 50% para a aderência às características dos CPS, chegando a mais de 68% de variação para as características de SoS e SC.

O Quadro 9 apresenta um resumo, onde é possível observar a diferença entre o grau de aderência ao conceito de CPS dos equipamentos avaliados.

Quadro 9 – Resumo dos resultados da aplicação do método de avaliação

|             |   | Empilhadeira | AGV    | AS/RS  | Transportador | Robô   |
|-------------|---|--------------|--------|--------|---------------|--------|
| Equipamento | A | 42,57%       |        |        |               |        |
|             | B | 48,20%       |        |        |               |        |
|             | C | 65,56%       |        |        |               |        |
|             | D |              | 37,21% |        |               |        |
|             | E |              | 46,86% |        |               |        |
|             | F |              | 58,80% |        |               |        |
|             | G |              |        | 34,83% |               |        |
|             | H |              |        | 65,60% |               |        |
|             | I |              |        | 87,31% |               |        |
|             | J |              |        |        | 45,43%        |        |
|             | K |              |        |        | 64,69%        |        |
|             | L |              |        |        | 79,04%        |        |
|             | M |              |        |        |               | 30,63% |
|             | N |              |        |        |               | 60,92% |
|             | O |              |        |        |               | 91,23% |

### 5.1.3 DISCUSSÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

A aplicação do método de avaliação permitiu a verificação da aplicabilidade do método de avaliação. O uso do roteiro de coleta de dados e da ferramenta de processamento das informações foi simples, adequado e eficaz, como recomendado pelos profissionais da indústria e academia.

O método de avaliação demonstrou-se capaz de determinar o grau de aderência dos equipamentos logísticos às características e ao conceito de CPS para a Indústria 4.0. O grau de aderência apresentado pelo método de avaliação permite ainda a comparação entre equipamentos de logística interna quanto ao nível de preparo para sua operação na Indústria 4.0.

Além dessa característica de mensurabilidade, o método de avaliação demonstrou também causalidade, generalização e replicação. Foi possível

observar a influência das tecnologias dos equipamentos (entradas) na aderência às características e ao conceito de CPS (saídas), a extensão da habilidade de análise a todos os equipamentos de logística interna e a capacidade de avaliar repetidamente um equipamento e obter o mesmo resultado.

Por sua vez, o roteiro, além de uma ferramenta apropriada para a coleta dos dados sobre o desenvolvimento das tecnologias CPS, apresentou-se ainda como um guia de investigação das competências dos equipamentos logísticos, quando utilizado como suporte no direcionamento das discussões com os fabricantes.

Já a ferramenta de processamento das informações, mostrou-se eficaz no cálculo da aderência dos equipamentos avaliados às características e ao conceito de CPS para a Indústria 4.0. Tanto o cálculo das características, a partir das tecnologias embarcadas, quanto do conceito de CPS, a partir dessas características, apresentaram erros de até 1,3%, como previsto.

Ainda, como esperado, por ser baseada em RNA, a ferramenta de processamento das informações é facilmente adaptável a novos conceitos que os CPS possam evoluir futuramente, bastando refazer o processo de aprendizagem com os novos parâmetros, eliminando a necessidade de criar um novo método de avaliação face a uma alteração de suas características e/ou tecnologias. Isso permite a essa ferramenta armazenar os conceitos apresentados e incorporar novas teorias futuras de forma rigorosa e confiável.

Com a aplicação do método de avaliação nos equipamentos de logística interna de mercado, observou-se a relação entre o grau de desenvolvimento das tecnologias empregadas nos dispositivos e a sua aderência às características e ao conceito de CPS para a Indústria 4.0.

Com isso, vê-se que há equipamentos com alta aderência às características e ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 já disponíveis para aquisição pelas empresas. Por outro lado, é possível verificar que, mesmo com fabricantes atestando que seus equipamentos foram desenvolvidos para atender a Indústria 4.0, há dispositivos com baixa concordância a esse conceito.

Baseado nessas considerações, o método de avaliação (apresentado na Seção 4.3.5) é aceito como solução ao objetivo geral de pesquisa desta tese e,

portanto, apresentado como um método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0. Isso também atende ao problema de pesquisa, pois o método de avaliação proposto determina o grau de aderência ao conceito de CPS para equipamentos de logística interna.

## 5.2 SIMULAÇÃO

Nesta seção são apresentados o planejamento e a execução da simulação de um processo de logística interna típico contendo equipamentos avaliados na seção anterior para identificação do desempenho operacional. A partir disso, analisa-se a existência da relação entre a aderência ao conceito de CPS desses equipamentos e seu respectivo desempenho operacional, conforme definido nos passos do desenvolvimento desta pesquisa (Figura 23).

Para Freitas (2008), a simulação dos processos industriais é ideal para esse propósito, pois permite que:

- os modelos digitais representem condições reais, promovendo um melhor entendimento dos processos existentes;
- seja observado o comportamento dos projetos, analisando seus resultados futuros;
- o projeto avaliado sob determinadas condições seja extrapolado para outros conceitos similares;
- o sistema avaliado seja otimizado, dimensionando corretamente os recursos utilizados;
- o tempo e custo de implantação do projeto seja reduzido, uma vez que muitos problemas podem ser eliminados no ambiente virtual e;
- a assertividade das decisões estratégicas e operacionais seja maior.

Neste trabalho, adota-se a simulação de eventos discretos (SED), pois é uma poderosa ferramenta, muito utilizada por pesquisadores na análise de processos logísticos (MANUJ, MENTZER e BOWERS, 2009; SEEBACHER, WINKLER e OBEREGGER, 2015).

Para o planejamento e a execução da SED, adota-se os passos propostos por Law e Kelton (1991), apresentados na Figura 57.

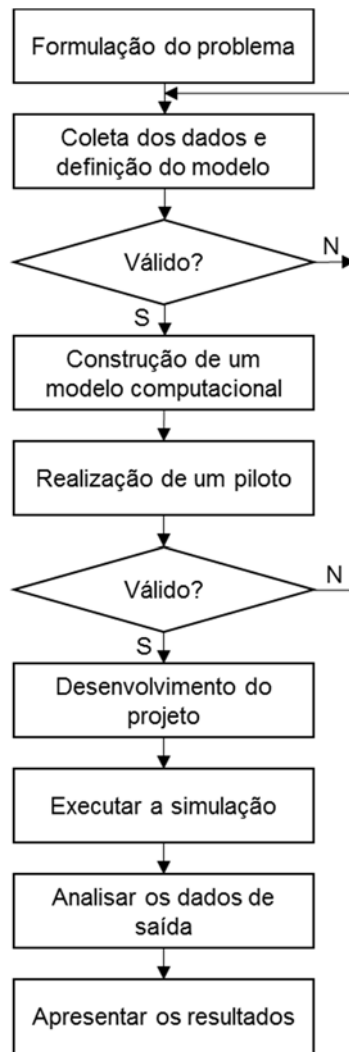


Figura 57 - Passos de uma simulação

(traduzido de Law e Kelton, 1991)

No passo de formulação do problema deve-se entender amplamente o processo que se deseja analisar com a simulação.

Na coleta dos dados e definição do modelo, as informações e as regras para criação da lógica do modelo devem ser determinadas. A validação destas informações e regras devem ser realizadas por pessoas intimamente familiares com as operações atuais a serem modeladas.

Na construção de um modelo computacional, as informações e regras previamente definidas devem ser aplicadas ao *software* para a criação do modelo de simulação.

No piloto, o modelo computacional é executado e validado se seus resultados forem satisfatórios, quando comparados com os resultados do processo real.

No desenvolvimento do projeto, os cenários a serem simulados são criados com as devidas alterações nas regras da lógica e adaptações dos elementos do modelo computacional.

No próximo passo, a simulação desses cenários é executada e obtidos os resultados e informações do comportamento do modelo.

Os resultados são analisados quanto ao atendimento do problema formulado no primeiro passo.

Por fim, esses resultados e análise devem ser apresentados.

### **5.2.1 PLANEJAMENTO**

A formulação do problema desta simulação resume-se em entender se há relação entre o desempenho operacional dos equipamentos de logística interna e seu respectivo grau de aderência ao conceito de CPS, previamente avaliados na seção anterior. Para isso, a simulação deve apresentar o desempenho operacional do processo logístico contendo esses equipamentos.

Para essa simulação, adota-se o *software* Tecnomatix Plant Simulation (SIEMENS, 2018), por ser um programa amplamente utilizado na Engenharia de Produção para a SED.

Nesta simulação, delimita-se por conveniência e disponibilidade nos processos logísticos de uma empresa multinacional onde há operação de equipamentos automáticos, grande variabilidade de materiais e necessidade de aumento de produtividade. Essa empresa multinacional está presente em mais de 50 países, com mais de 100 anos de atuação em seu segmento e amplamente reconhecida pela sua logística de excelência.

O processo logístico recomendado pela administração da empresa para a simulação foi um armazém de peças de reposição controlado por um sistema de gerenciamento do armazém (WMS – *warehouse management system*) integrado com o sistema da companhia e compreendido pelas atividades de

recebimento de materiais, armazenagem, coleta e expedição. Sua principal função é a organização e envio de kits de peças para a manutenção preventiva ou corretiva do produto comercializado por essa empresa.

A partir do problema de simulação entendido, as informações e as regras para criação da lógica do modelo devem ser levantadas.

Para isso, inicia-se esse levantamento com a observação de que há equipamentos automatizados no processo existente, como os transportadores e o AS/RS, assim como processos manuais, como a coleta. Esse armazém possui aproximadamente 2.500 peças de diferentes tamanhos, pesos e embalagens, apresentado uma ampla variabilidade dos materiais para as atividades logísticas. Ainda, mesmo que esse armazém não necessite aumentar a quantidade de pedidos recebidos ou expedidos, seu processo é apresentado como uma restrição na cadeia de distribuição desses kits e necessita de menores tempos de processamento de seus pedidos, ou seja, maior produtividade.

O recebimento de materiais é composto por um turno de dois operadores com empilhadeiras que recebem em suas docas aproximadamente 1200 lotes de peças por dia. Esses operadores descarregam os caminhões que são programados para chegar dos fornecedores em intervalos regulares de 1 hora, conferem o material já recebidos em contenedores padronizados e depositam os lotes em um transportador que segue para a armazenagem. Tanto o intervalo de chegada dos caminhões nas docas de recebimento de materiais, quanto a quantidade de lotes transportados pelos caminhões seguem uma distribuição normal, apresentadas na Figura 58 e Figura 59. Esses dados foram levantados na empresa e processados pela ferramenta *fit<sup>2</sup>* do Tecnomatix Plant Simulation, para se obter as devidas distribuições. Para a simulação, os operadores com empilhadeiras do recebimento foram devidamente configurados com seus tempos produtivos e não-produtivos (histórico de quebras, de falhas, de paradas programadas, de *set-up*, etc), levantados a partir de informações da empresa.



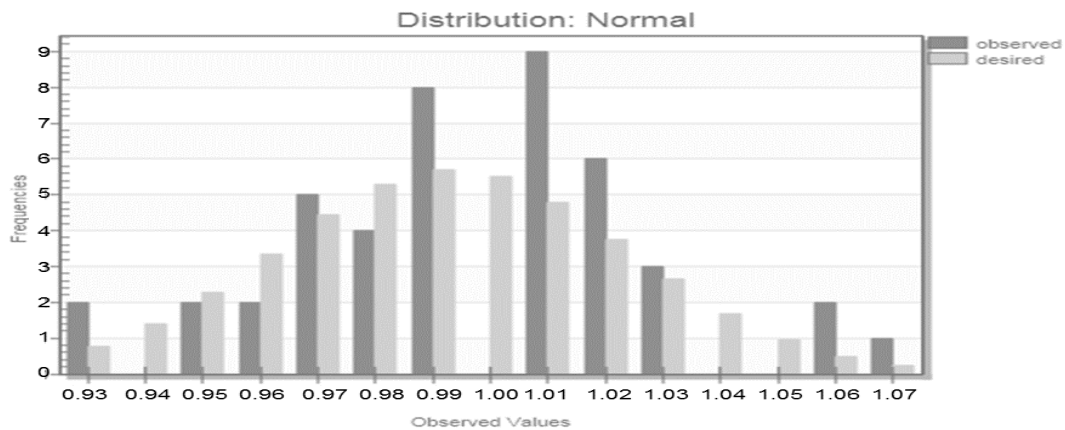


Figura 58 – Distribuição referente ao intervalo da chegada dos caminhões

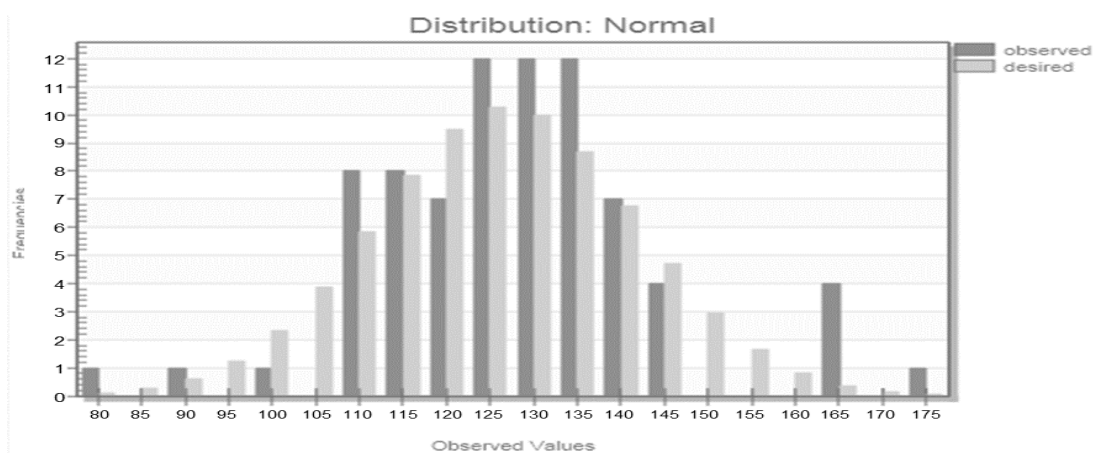


Figura 59 – Distribuição referente à quantidade de lotes por caminhão

No processo de armazenagem das peças, o transportador leva os contenedores até o AS/RS, que é utilizado para assegurar velocidade, acurácia e o plano de estoque, neste caso FIFO (*first in first out*). Esse AS/RS busca alocar os lotes de maior fluxo próximos à entrada do estoque para garantir melhores tempos de resposta tanto na armazenagem quanto na coleta das peças para montagem dos pedidos de kits. Para a simulação, esses equipamentos também foram configurados conforme seus respectivos tempos produtivos e não-produtivos.

Para a coleta das peças, quatro operadores recebem os pedidos em sequência definida pelo WMS e solicitam os respectivos contenedores ao AS/RS, que os entrega por estação de coleta. Os operadores, que trabalham em um turno, coletam e organizam as peças conforme cada pedido de kit e executam a embalagem de transporte final. Esses operadores são responsáveis, também, por definirem o tamanho de embalagem para cada kit de peças, bem

como a disposição de cada peça em seu interior, buscando a otimização do espaço dessa embalagem. Os pedidos embalados são depositados em um transportador que leva cada caixa à sua respectiva doca de expedição para consolidação das cargas. Para a simulação, os operadores da coleta e o transportador foram devidamente configurados com seus tempos produtivos e não-produtivos, também levantados a partir de informações da empresa.

A expedição trabalha em um turno (quando não há pedidos emergenciais) e é composta por um operador com empilhadeira, que move os pedidos dos kits do transportador, onde estão consolidados, até os caminhões nas docas de embarque. Em um dia típico, a expedição despacha em média 500 lotes de kits para os revendedores. Para a simulação, o operador e a empilhadeira da expedição foram devidamente configurados com seus tempos produtivos e não-produtivos.

Nesse armazém de peças, as atividades do AS/RS e as de coleta das peças dos kits são restritoras do fluxo dos materiais, do recebimento e expedição respectivamente. Essas atividades restritoras estão identificadas pelo mapa da cadeia de valor disponibilizado pela empresa em sua área de comunicação de melhoria contínua.

Com isso, a partir dessas explicações de operação e das informações coletadas, pode-se elaborar o VSM (*Value Stream Mapping*) que representa o processo logístico selecionado, apresentado na Figura 60. Esse VSM foi analisado e validado pelos gestores das respectivas atividades e o gerente de logística deste armazém.

Assim, com base no VSM, cria-se o modelo computacional do processo do armazém de peças, apresentado pela Figura 61.

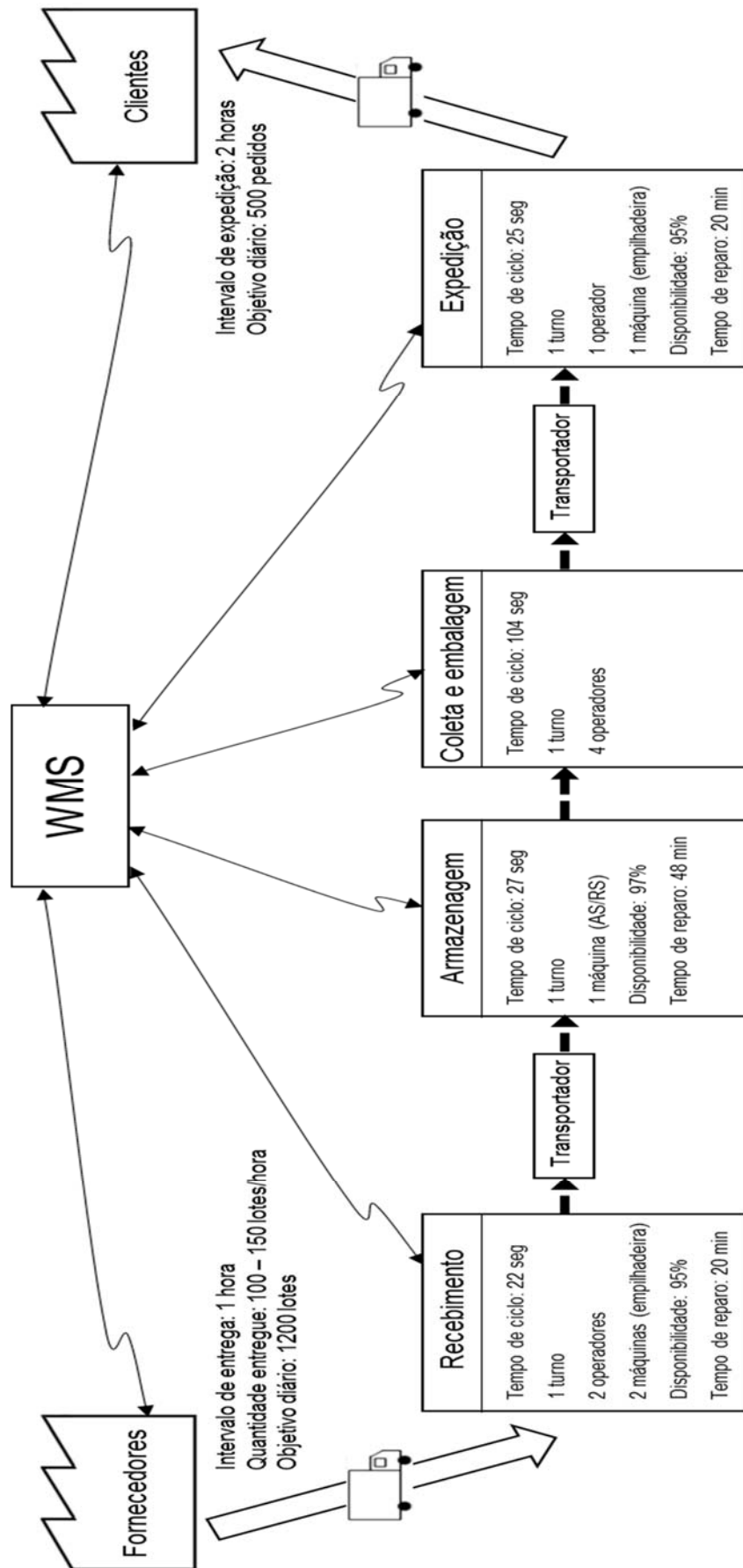


Figura 60 – VSM do processo logístico selecionado para simulação

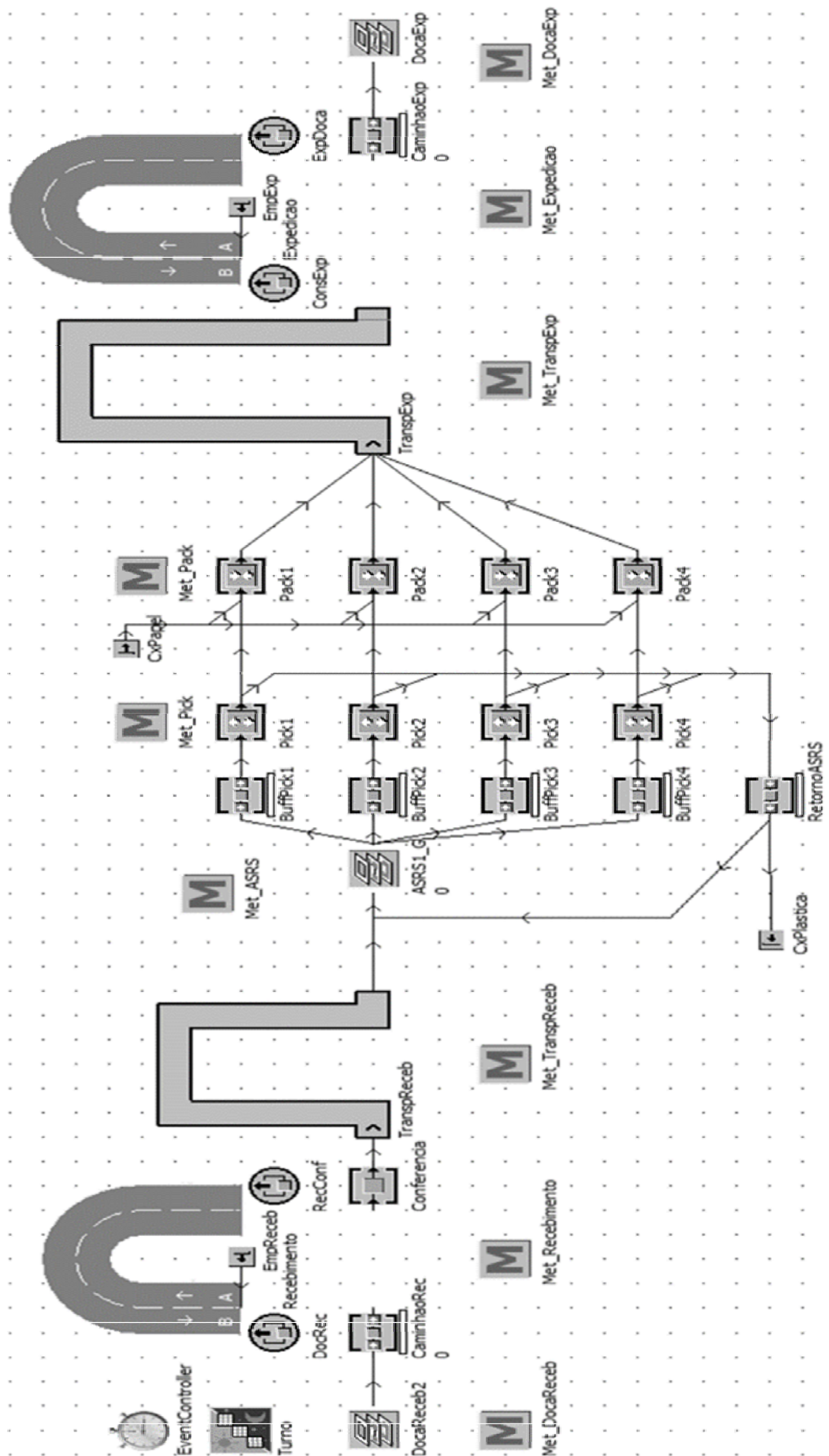


Figura 61 – Modelo de processo logístico selecionado para simulação

A partir disso, é possível realizar uma simulação piloto para validação do modelo computacional.

Para essa simulação, se estabelece o período de um dia de análise. Este dia é composto por um turno de operação, ou seja, 10 horas de simulação.

Também, foram estabelecidas para a simulação 300 diferentes peças (das mais de 2.500 existentes no armazém) para assegurar as alterações no *set-up* dos equipamentos quando necessário, auferindo a variabilidade necessária nas atividades.

Ainda, Cerda (1995) apresenta que a avaliação do desempenho operacional dos processos logísticos deve ser fundamentada em indicadores. Esse autor explica que os indicadores de desempenho de processos logísticos para a manufatura de produtos devem ser: a) quantidade de peças processadas em um tempo determinado (*throughput*), b) tempo de processamento dos materiais ao longo de todo o processo (*throughput time*), c) quantidade de material em processo (*work in process*) e d) taxa de utilização dos equipamentos (*utilization rate*).

Como o objetivo da simulação é observar o desempenho operacional que os equipamentos aderentes ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 oferecem ao processo logístico do armazém de peças, são adotados os indicadores de:

- a) quantidade de peças processadas: mensurado pela quantidade de peças recebidas e armazenadas no AS/RS e também coletadas e despachadas pela expedição;
- b) tempo de processamento do material: mensurado pelo tempo para se armazenar a meta de lotes de peças recebidos (1200) e também para se expedir a meta de pedidos de kits (500).

Os demais indicadores não serão utilizados. O indicador de *c* - quantidade de material em processo - mensura o nível do inventário e o indicador de *d* - taxa de utilização dos equipamentos - a ociosidade do equipamento individual, o que não são alvos desta simulação.

Com isso, executa-se a simulação piloto e seus resultados são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Resultados da simulação – equipamentos existentes

| <b>Indicador de Desempenho</b>   | <b>Recebimento</b> | <b>Expedição</b> |
|----------------------------------|--------------------|------------------|
| Quantidade de lotes processados  | 1172               | 516              |
| Tempo de processamento dos lotes | 10:13 h            | 9:42 h           |

Com essa simulação piloto obtém-se uma aceitável concordância entre o modelo computacional e o processo real, uma vez que em um dia típico, o armazém de peças recebe aproximadamente 1200 lotes de peças e expede cerca de 500 pedidos. Assim, valida-se o modelo computacional da SED.

Esses resultados são a base de comparação para as próximas simulações contendo os equipamentos de logística interna com aderência ao conceito de CPS.

### 5.2.2 EXECUÇÃO

Para se iniciar o desenvolvimento dos cenários do projeto da simulação, é necessário estabelecer um critério para a seleção das atividades de logística interna que podem apresentar benefícios com a implementação de um equipamento CPS. Para isso, apoia-se no conceito de Schuh *et al.* (2017), em que a Indústria 4.0 promete acelerar os processos de tomada de decisão e adaptar rapidamente suas atividades a esta determinação.

Assim, atividades de logística interna em que haja necessidade de tomada de decisão e adaptação a esta determinação podem obter um melhor desempenho operacional se executadas por um equipamento CPS. As atividades repetitivas e cíclicas, em que não há necessidade de tomada de decisão, podem se beneficiar de tecnologias relacionadas à automação (terceira revolução industrial), sendo que os CPS podem ter mínima ou nenhuma influência. Esse critério é adotado na criação dos cenários do projeto a ser simulado, em que ocorre a substituição dos equipamentos no processo de logística interna do armazém selecionado.

Segundo esse critério, a única atividade em que o equipamento atual toma decisão é a armazenagem. O AS/RS atual nessa atividade “decide” em qual posição armazena os lotes de materiais, segundo sua lógica de automação. Dessa forma o AS/RS atual deve ser substituído pelos AS/RS aderentes ao conceito de CPS para a simulação.

As empilhadeiras (com seus operadores) e os transportadores, tanto do recebimento quanto da expedição, não tomam decisão e, portanto, não serão substituídos. Suas atividades limitam-se em movimentar repetida e ciclicamente os materiais/pedidos, assim que disponibilizados na atividade anterior.

Já a atividade de coleta é manual e não há equipamento a se substituir.

A partir disso, o AS/RS existente foi substituído pelos AS/RS previamente analisados pelo método de avaliação (fabricantes G, H e I), para verificação do desempenho operacional do processo logístico do armazém de peças, agora com equipamentos aderentes ao conceito de CPS.

O AS/RS do fabricante G possui estantes verticais fixas de dupla profundidade e dez níveis de altura, formando dez mil posições de estocagem, e é composto por duas torres móveis, que podem coletar até três contenedores por vez e se deslocam ao longo dos corredores entre as estantes, armazenando e coletando os contenedores solicitados pelos operadores. Suas tecnologias CPS são apresentadas em seu respectivo roteiro no apêndice A. Esse AS/RS otimiza o espaço de armazenagem, pois ocupa todo espaço vertical disponível no armazém (do chão ao teto), e possui um preço compatível com outros AS/RS de mercado.

Já o AS/RS fabricado por H é composto por cinquenta carros que movimentam quinhentas estantes verticais, onde cada estante pode armazenar vinte contenedores. Os operadores solicitam as peças ao AS/RS que seleciona o carro mais próximo e disponível para trazer a estante em que armazena a devida peça até o operador. Os carros interagem entre si para armazenar e coletar as estantes, mesmo que alterem a sequência de coleta buscando otimizar a operação, porém dentro do mesmo pedido de kit. As suas devidas tecnologias CPS são apresentadas no roteiro do fabricante H do apêndice A. Seu preço e ocupação de área são relativamente maiores quando comparados ao fabricante G, pois as estantes são baixas, para assegurar a estabilidade do transporte, e há mais tecnologia envolvida nos equipamentos. Porém, o fabricante H promete que esses pontos são compensados pelo ganho de produtividade de seu AS/RS.

Por sua vez, o AS/RS do fabricante I é estruturado em mil estantes verticais fixas de dez níveis de altura, aglomeradas entre si como um bloco, onde

oitenta carros de movimentação dos contenedores operam pela superfície dessas estantes. Os operadores solicitam as peças ao AS/RS que otimiza a ordem de coleta na sequência de operação ideal e seleciona o carro mais próximo e disponível para trazer o contenedor da respectiva peça até o operador. Os carros desse fabricante possuem capacidade de inclinação do contenedor que transportam, com o propósito de facilitar a coleta dos materiais em seu interior. O controle desse AS/RS opera os carros em conceito de enxame e, portanto, pode se adequar às necessidades do WMS ou dos operadores a qualquer momento, alterando ou adaptando qualquer atividade, inclusive, no meio de um ciclo de operação. Suas tecnologias CPS são apresentadas no respectivo roteiro do apêndice A. Seu preço é relativamente maior que o fabricante H, pois possui mais carros para a mesma operação, porém ocupa uma área menor que o fabricante G, uma vez que não há corredores entre as estantes.

Os sistemas de controle dos AS/RS de todos os fabricantes (G, H e I) também possuem a competência de armazenar os materiais de maior volume de pedidos próximos à saída do AS/RS para diminuir o tempo de ciclo de armazenagem e coleta. Essa competência se adapta automaticamente ao contexto da operação.

Assim, foram executadas as simulações desses três cenários, um a um, e seus resultados são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 – Resultados da simulação – substituição do AS/RS

| Equipamento |           | Avaliação de aderência aos CPS | Tempo de Simulação           | Meta Recebimento | Qtde lotes recebidos em 1 turno/10 horas | Tempo de recebimento para 1200 lotes | Meta de expedição | Qtde pedidos expedidos em 1 turno/10 horas | Tempo de expedição para 500 pedidos |
|-------------|-----------|--------------------------------|------------------------------|------------------|--|--------------------------------------|-------------------|--|-------------------------------------|
| AS/RS       | existente | 0,00%                          | 1 dia<br>1 turno<br>10 horas | 1200 lotes       | 1172                                     | 10:13 h                              | 500 pedidos       | 516  | 9:42 h                              |
| AS/RS       | G         | 34,83%                         |                              |                  | 1220                                     | 9:52h                                |                   | 644  | 7:44 h                              |
| AS/RS       | H         | 65,60%                         |                              |                  | 1324                                     | 9:16 h                               |                   | 780  | 6:16 h                              |
| AS/RS       | I         | 87,31%                         |                              |                  | 1412                                     | 8:47 h                               |                   | 896  | 5:46 h                              |



Com isso, verifica-se que a implementação de um equipamento com características CPS em uma atividade logística que já é automatizada, no armazém de peças modelado, pode auferir maior desempenho operacional ao processo completo.

Porém, para Bohacs e Rinkacs (2016), a avaliação dos fluxos de materiais deve ser executada de forma ampla no sistema logístico, e não analisar somente os equipamentos individuais. Ainda, conforme Klebanov *et al.* (2016), a análise dos gargalos de processo permite um amplo entendimento do sistema avaliado.

Assim, observando as atividades restritoras e os resultados das simulações anteriores, entende-se que ainda é possível melhorar o desempenho do processo do armazém de peças, substituindo, além do AS/RS, o processo manual de coleta das peças dos kits por robôs. Essa implementação de robôs com características de CPS na coleta de materiais é adequada, pois os operadores tomam decisão do tamanho da embalagem e da sequência e disposição dos materiais em seu interior para a formação do kit de peças.

Com isso, os robôs previamente analisados pelo método de avaliação (fabricantes M, N e O) são utilizados para substituir os operadores da coleta, criando-se mais nove cenários para simulação.

Dessa forma, o AS/RS passa a ser integrado com os robôs, operando como um único sistema. A Figura 62 ilustra esse funcionamento integrado dos robôs com o AS/RS.

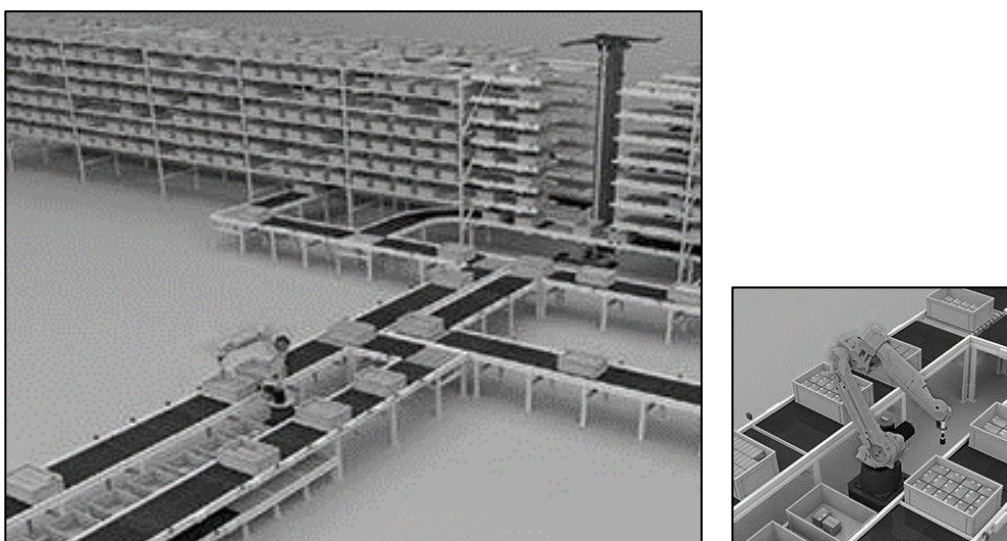


Figura 62 – Operação do AS/RS em conjunto com robô de coleta

O robô de fabricante M é composto por um braço de quatro articulações que pode rotacionar trezentos e cinquenta graus, uma câmera para visualização das peças e doze diferentes garras para coleta dos materiais. Essas garras são específicas para cada tipo de material, peso e embalagem e cobrem todas as possibilidades da atividade de coleta. As garras são dispostas em um magazine e substituídas pelo braço robótico de acordo com a necessidade da sequência de peças que são recebidas para coleta. Para isso, o sistema de controle do robô tem a capacidade de se comunicar com o WMS (ou outro sistema de gerenciamento de pedidos) para otimização da troca da garra, recomendando uma melhor sequência de coleta de materiais. Apesar dos materiais serem visualizados dentro do contenedor pela câmera, há casos que o robô necessita de algumas tentativas para coletar a peça, devido a posições incompatíveis do material para com a garra de coleta, porém sempre cumpre com sua função. O preço desse robô é relativamente compatível com outros fabricantes, considerando a mesma função e capacidade.

Já o robô de fabricante N também possui um braço com quatro articulações e rotação trezentos e cinquenta graus, e uma câmera para visualização das peças, porém sua garra é dotada de três dispositivos pneumáticos por sucção que permitem coletar os diferentes materiais sem a substituição da garra. O sistema de controle do robô decide pelo(s) dispositivo(s) de garra a ser(em) utilizado(s) de acordo com a sequência de peças que são recebidas para a coleta e a disposição das peças no interior dos contenedores visualizada pela câmera, o que permite a coleta do material na primeira tentativa, adequando tanto o braço quanto a garra ao contexto da necessidade. O preço do robô de fabricante N é similar ao fabricante anterior M.

Por sua vez o robô de fabricante O é constituído por um braço robótico de quatro articulações e rotação de trezentos e cinquenta graus, duas câmeras para visualização das peças e uma garra composta por três pinças com três articulações cada. Uma das câmeras é posicionada sobre o contenedor a ser coletado para guiar a garra e a outra é posicionada sobre o próximo contenedor na sequência de coleta, identificando antecipadamente a posição das peças a serem coletadas, para otimizar os movimentos do braço e garra durante a troca de contenedores. O sistema de pinças articuladas e de inteligência artificial para

posicionamento do braço permite ao robô coletar as peças na primeira tentativa independente da sequência de coleta ou da posição na peça no interior do contenedor. O preço desse robô de fabricante O é relativamente maior que os demais fabricantes de robôs de mesma função e capacidade.

Todos os sistemas de controles dos robôs dos três fabricantes (M, N e O) possuem um módulo de otimização de cargas, que permite ao robô determinar a melhor posição de cada peça dentro de uma determinada embalagem, buscando reduzir o espaço utilizado. O robô de fabricante O pode adicionalmente permitir a alteração da sequência de deposição dos materiais no interior da embalagem, alcançando um menor espaço dentro da embalagem. Isso somente é possível caso as informações de tamanho, peso e empilhamento das peças, bem como os tipos e volume interno das embalagens, estejam disponíveis.

Assim, os robôs desses fabricantes trabalham em conjunto com o AS/RS para formar os kits de peças de cada pedido. Quando os robôs finalizam um pedido e sua embalagem final, disponibilizam esse pedido no transportador para a consolidação e expedição.

A partir disso, as nove simulações são realizadas, uma a uma em ordem por fabricante, e seus resultados apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 – Resultados da simulação – substituição do AS/RS e Robô

| Equipamento |           | Avaliação de aderência aos CPS | Tempo de Simulação           | Meta Recebimento | Qtde lotes recebidos em 1 turno/10 horas | Tempo de Recebimento para 1200 lotes | Meta de expedição | Qtde pedidos expedidos em 1 turno/10 horas | Tempo de expedição para 500 pedidos |
|-------------|-----------|--------------------------------|------------------------------|------------------|--|--------------------------------------|-------------------|--|-------------------------------------|
| AS/RS       | existente | 0,00%                          | 1 dia<br>1 turno<br>10 horas | 1200 lotes       | 1172                                     | 10:13 h                              | 500 pedidos       | 516  | 9:42 h                              |
| Coleta      | manual    | 0,00%                          |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | G         | 34,83%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | M         | 30,63%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | G         | 34,83%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | N         | 60,92%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | G         | 34,83%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | O         | 91,23%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | H         | 65,60%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | M         | 30,63%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | H         | 65,60%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | N         | 60,92%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | H         | 65,60%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | O         | 91,23%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | I         | 87,31%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | M         | 30,63%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | I         | 87,31%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | N         | 60,92%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| AS/RS       | I         | 87,31%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
| Coleta Robô | O         | 91,23%                         |                              |                  |  |                                      |                   |  |                                     |
|             |           |                                |                              |                  | 1412                                     | 8:47 h                               |                   | 1007                                       | 5:22 h                              |
|             |           |                                |                              |                  | 1412                                     | 8:47 h                               |                   | 1178                                       | 4:02 h                              |
|             |           |                                |                              |                  | 1412                                     | 8:47 h                               |                   | 1422                                       | 3:06 h                              |

Com isso, pode-se observar que o uso de equipamentos com características CPS no processo logístico do armazém de peças modelado permite um maior desempenho operacional.

Ainda, os resultados desta simulação levam a crer que quanto maior o grau de aderência dos equipamentos ao conceito dos CPS para a Indústria 4.0, melhores são os resultados de desempenho operacional.

### 5.2.3 VERIFICAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ADERÊNCIA AO CONCEITO DE CPS E DESEMPENHO OPERACIONAL

As simulações foram de grande valor para a verificação da relação entre o grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 e o respectivo desempenho operacional do processo em que atuam.

A partir dessas simulações, entende-se que, se um processo logístico é repetitivo e cíclico (padronização do processo), sem variação dos materiais (contenedores padronizados) e sem necessidade de tomada de decisão durante sua execução (padronização das atividades), não há exigência, ou sequer ganhos, no emprego de equipamentos com tecnologias de CPS. Já para as situações com variação dos materiais e necessidade de tomada de decisão, a implementação de equipamentos com características de CPS é adequada.

Dessa forma, observou-se que a substituição do AS/RS existente no armazém de peças (que apesar de automatizado não é um CPS) por um AS/RS com características de CPS (mesmo que possua baixa aderência) auferiu ao processo logístico melhores resultados.

Isso pode ser visto na simulação do fabricante G, onde foi possível observar que houve um ganho na operação do AS/RS, provavelmente da antecipação das ações de armazenagem e coleta das estantes, resultantes da auto-organização para execução das atividades e da plena integração com o sistema do armazém (WMS). Essa antecipação de ação pode ser entendida como a consolidação de lotes de peças para zonas de armazenagem próximas, alterando a sequência dos contenedores sempre que necessário para otimizar o trajeto do transportador do AS/RS.

Na simulação do fabricante H presume-se que os benefícios encontrados sejam devido às tecnologias de inteligência artificial na tomada de decisões sobre os transportadores desse fabricante. Distintamente dos demais, esse AS/RS, durante momentos de ociosidade, pode reposicionar os lotes de peças já armazenados para espaços de armazenagem mais próximos a saída, minimizando o tempo de coleta e de armazenagem.

Por sua vez, a simulação do fabricante I apresenta possíveis vantagens das características de sistemas cooperativos integradas às de sistemas de sistemas e adaptação ao contexto. Neste AS/RS, supõem-se que os ganhos se originam na cooperação entre os transportadores do AS/RS, antecipando e otimizando os movimentos de armazenagem e coleta dos futuros lotes de peças, minimizando assim os retrabalhos de armazenagem e as movimentações quando vazios.

Na simulação dos AS/RS com os robôs de coleta, verificou-se que a quantidade de lotes recebidos no armazém é dependente apenas do AS/RS utilizado. Isso se deve à restrição que a atividade de armazenagem do AS/RS oferece ao fluxo dos lotes de materiais do recebimento ao estoque. Dessa forma, os robôs de coleta não influenciam na quantidade de lotes recebidos.

A simulação do AS/RS do fabricante G com os robôs de coleta do fabricante M apresentou um ganho no número de pedidos expedidos comparados ao processo manual existente do armazém. Esse ganho deve-se possivelmente à constância de tempo de ciclo de coleta que o robô tem em relação a um humano, que apresenta fadiga e perda de atenção ao longo da operação.

Ambas as simulações do AS/RS do fabricante G com os robôs de coleta dos fabricantes N e O apresentaram a mesma quantidade de pedidos expedidos. Isso provavelmente se dá pela restrição que a atividade de coleta do AS/RS do fabricante G impõe ao fluxo dos pedidos do estoque a expedição, independentemente da tecnologia ou velocidade dos robôs de coleta.

Já na simulação do AS/RS do fabricante H com os robôs de coleta do fabricante M observou-se um incremento do número de pedidos expedidos, devido aparentemente pela solicitação que o robô faz ao AS/RS para envio de conjuntos de lotes de coleta similares, reduzindo assim a quantidade de trocas da garra de coleta. Isso é um possível benefício conseguido com a integração das atividades dos dois equipamentos como um único sistema.

A simulação do AS/RS do fabricante H com os robôs de coleta do fabricante N apresentou um maior aumento na expedição dos pedidos, supostamente proveniente de um maior nível de inteligência artificial na identificação das peças para posicionamento da garra de coleta. Essa característica dos robôs desse fabricante permite que as peças sejam coletadas na primeira tentativa, sem reposicionamento do braço robótico, adaptando o robô ao contexto da coleta.

Já a simulação do AS/RS do fabricante H com os robôs de coleta do fabricante O apresentou uma quantidade de pedidos expedidos ainda maior que a simulação anterior. Esse aumento se deve possivelmente ao posicionamento

antecipado (enquanto ocorre a troca do lote de peças pelo AS/RS) do conjunto garra e braço robótico para as peças que chegam pelo AS/RS nas estações de coleta.

Por sua vez, as simulações do processo logístico do armazém com o AS/RS do fabricante I e os robôs de coleta dos fabricantes M, N e O apresentaram ganhos ainda mais expressivos, chegando a duplicar o número de pedidos expedidos pelo processo existente. Isso é provavelmente possível graças às competências dos robôs de coleta (explicadas anteriormente quando operam com o AS/RS do fabricante H), cooperando com os transportadores colaborativos do AS/RS do fabricante I, que aparentemente otimizam o posicionamento do braço robótico em conjunto com o movimento do transportador do AS/RS para buscar a maior eficiência global da atividade de coleta. Esse benefício pode ser supostamente atribuído às características de sistema de sistema, adaptação ao contexto e sistemas cooperativos, que não seriam possíveis sem a mescla dos mundos físico e virtual do conjunto AS/RS-robôs operando com um único sistema/organismo.

Em todas as simulações, também se observou ganhos de produtividade possivelmente provenientes da capacidade dos equipamentos em auto-monitorar o funcionamento de seus sub-sistemas e solicitar uma parada programada para a equipe de manutenção, indicando previamente uma possível falha que interromperá o processo logístico, caso não seja devidamente analisada e impedida. Essa capacidade aparentemente reduz o tempo entre falhas e o tempo de reparo dos equipamentos, assegurando um benefício ainda maior para a operação.

Com isso, mesmo que o armazém de peças não necessite aumentar a quantidade de pedidos recebidos e expedidos em um turno, um possível benefício com a implementação de equipamentos com características CPS em seu processo, observa-se a redução dos tempos de recebimento e expedição para as quantidades estabelecidas nas metas dessas atividades. Esse ganho de tempo contribui para que o processo do armazém deixe de ser uma restrição na cadeia de distribuição de kits dessa empresa.

Além disso, observa-se que a introdução dos CPS nos processos logísticos deve começar pelas atividades restritoras do fluxo de materiais, para que seus benefícios sejam maximizados.

Adicionalmente, presume-se que os CPS ao serem implementados em processos de qualquer atividade logística devem ser adequados para a função específica. Apesar dos CPS poderem aprender e se auto-adaptar para executar as tarefas a que foram destinados, é provável que quanto maior for a especialização do *hardware* e *software* para a atividade determinada, maior será o desempenho do processo, pois suas tecnologias serão mais assertivas e rápidas nas decisões que porventura surjam, além da atividade em si ser possivelmente executada em menor tempo por dispositivos singulares de execução paralela ou de menor utilização de recursos da máquina.

A partir dessas considerações, entende-se que há uma relação entre o grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0 e o desempenho operacional no processo em que são inseridos. Dessa forma, o método de avaliação proposto nesta tese pode ainda ser de grande valor para auxiliar a análise de ganhos de produtividade que um equipamento possa exercer em processos de logística interna.



## 6 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões desta pesquisa, sua principal contribuição, bem como limitações e recomendações para trabalhos futuros.

A Indústria 4.0, suportada por elementos como Internet das Coisas (IoT), Internet dos Serviços (IoS), Internet dos Dados (IoD), Internet das Pessoas (IoP) *Big Data*, computação em nuvem, realidade aumentada e Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS), entre outros, traz a promessa de conferir vantagens competitivas para as empresas como redução do custo de manufatura e aumento da eficiência operacional.

Os CPS, um dos principais elementos da Indústria 4.0, incorporam tecnologias e características específicas e podem ser aplicados em diversas áreas da sociedade, incluindo saúde, mobilidade, produção e logística. Sua aplicação na logística interna, área estratégica para a organização do fluxo de materiais e informações das empresas, pode oferecer inúmeros benefícios como redução dos custos operacionais e redução dos tempos de ciclo de produção.

Diversos fabricantes já oferecem ao mercado equipamentos de logística interna que, segundo eles próprios, incorporam tecnologias e características de CPS, apresentando-os como plenamente aptos a operar em ambiente de Indústria 4.0. Entretanto, observa-se que não existe um meio eficaz de avaliar se estes equipamentos efetivamente integram tais tecnologias e características e em que nível essa integração ocorre.

Desta forma, esta tese teve como objetivo propor um método de avaliação do grau de aderência de equipamentos de logística interna ao conceito dos CPS para a Indústria 4.0.

O método proposto apoia-se na estruturação de um roteiro de coleta de dados, para reunir informações relativas às tecnologias de CPS embarcadas no equipamento de logística interna, associado a uma ferramenta de processamento dessas informações, que avalia a aderência desse equipamento ao conceito de CPS para operação na Indústria 4.0.

O roteiro de coleta dos dados é formado por questões que identificam as informações sobre as tecnologias de CPS e as funções da logística interna nos equipamentos avaliados. A ferramenta de processamento das informações se baseia em uma rede neural artificial, devidamente treinada, para calcular o grau de aderência desses equipamentos às características e ao conceito de CPS a partir dos dados coletados pelo roteiro.

O método proposto mostrou-se adequado em uma aplicação, avaliando o grau de aderência ao conceito de CPS de equipamentos de logística interna ofertados no mercado por diversos fabricantes, com erros de medição menores que 2%.

Além da característica de mensuração, o método de avaliação também demonstrou causalidade, generalização e replicação. Foi possível observar causalidade, pela influência que cada tecnologia de CPS (entradas) apresenta na aderência ao conceito de CPS (saída). A generalização foi constatada pela capacidade do método de avaliação abranger todos os equipamentos de logística interna. Já a replicação foi verificada pela capacidade de avaliar repetidamente um equipamento e obter o mesmo resultado.

Durante a aplicação do método de avaliação, foram observadas oportunidades para os fabricantes de sistemas logísticos incorporarem tecnologias de CPS em seus equipamentos. Com isso, os próprios fabricantes de equipamentos de logística interna podem, também, utilizar o método proposto para identificar as tecnologias que carecem de desenvolvimento e focar esforços para tornar seus produtos mais aderentes ao conceito de CPS para operação na Indústria 4.0.

Também foi possível verificar, por meio de uma simulação, a existência da relação entre o grau de aderência ao conceito de CPS dos equipamentos de logística interna e o desempenho operacional do processo logístico em que estão inseridos. Com isso, o método de avaliação se apresenta, ainda, como uma importante ferramenta para apoiar os tomadores de decisão sobre investimentos na aquisição de equipamentos para os processos industriais.

As limitações do método proposto são a existência do erro de 1,3% no cálculo do grau de aderência de CPS dos equipamentos de logística interna e a

necessidade do aprendizado da rede neural para incorporar o desenvolvimento dos novos conhecimentos sobre CPS. Embora pequeno, esse erro pode criar conflitos na avaliação de equipamentos de logística interna com competências tecnológicas similares, ou seja, com o grau de aderência ao conceito de CPS muito próximos. Já a rede neural artificial pode não convergir para um erro inferior aos 2% tolerados quando se executa o aprendizado para incorporação de um novo conhecimento de CPS. Caso isso ocorra, será necessária uma matriz de treinamento com maiores informações sobre a relação entrada-saída, o que pode demandar um grande esforço do pesquisador.

Esta pesquisa contribui para o avanço da teoria sobre CPS aplicados à logística, pois a partir de seu desenvolvimento foram identificadas e sistematizadas as tecnologias e características que suportam o conceito de CPS para a Indústria 4.0, assim como os equipamentos de logística interna passíveis de serem CPS. Adicionalmente, a partir do método proposto, é possível identificar quais tecnologias um equipamento de logística deve possuir, e o nível de desenvolvimento de cada uma delas, para conquistar sua plena operação na Indústria 4.0.

## **6.1 TRABALHOS FUTUROS**

Considerando que este é um dos primeiros trabalhos que apresentam um método de avaliação de equipamentos em relação ao conceito de CPS, existem, a partir dele, oportunidades para trabalhos futuros. Citem-se entre elas:

- adaptar o roteiro de coleta de dados para analisar as tecnologias embarcadas nos equipamentos da área de manufatura da Indústria 4.0;
- adaptar o método de avaliação para analisar o conceito de CPS em outras aplicações, como: saúde, mobilidade, infraestrutura, etc.;
- incorporar ao método de avaliação outras ferramentas de seleção de equipamentos de logística interna;
- determinar o comportamento da relação entre aderência ao conceito de CPS e o desempenho operacional do processo que o equipamento se insere.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAMODT, A.; PLAZZA, E. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and systems approaches. **AI Community**, p. 35-59, 1994.
- ACATECH. **Deutsche Akademie der Technikwissenschaften**, 2017. Disponível em: <<http://www.acatech.de>>. Acesso em: 11 Agosto 2017.
- AGUEZZOUL, A. **Multi-criteria decision making methods for Third-Party Logistics evaluation**. International Conference on Engineering Systems Management and Its Applications. Sharjah: IEEE. p. 1-6, 2010.
- AHLGREN, P.; JARNEVING, B.; ROUSSEAU, R. Requirements for a Cocitation Similarity Measure, with Special Reference to Pearson's Correlation Coefficient. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, p. 550-560, 2003.
- AHMAD, A.; PAUL, A.; RAHORE, M.; CHANG, H. Smart cyber society: integration of capillary devices with high usability based on cyber-physical system. **Future Generation Computer Systems**, v. 56. p. 493-503, 2016.
- AHMAD, N.; AGAH, A. Plan and intent recognition in a multi-agent system for collective box pushing. **Journal of Intelligent Systems**, v. 23, n. 1, p. 95-108, 2013.
- AHMAD, Z.; NOOR R; ZHANG, J. Multiple neural networks modeling techniques in process control: a review. **Asia Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 4, n. 4, p. 403-419, 2009.
- AHMED, S.; KIM, G.; KIM, D. Cyber Physical System: Architecture, Applications and Research Challenges. **6th IEEE Wireless Days Conference**, 2013.
- ALHAWITI, K. Advances in artificial intelligence using speech recognition. **Computer and Information Engineering**, v. 9, n. 6, p. 1439-1442, 2015.
- ANDERL, R. **Industrie 4.0 - advanced engineering of smart products and smart production**. Seminário Internacional de Alta Tecnologia. Santa Bárbara d'Oeste: DiK. p. 1-26, 2014.
- ANDERL, R.; PICARD, A.; WANG, Y.; FLEISHER, J.; DOSCH, S.; BENEDIKT, K.; BAUER, J. **Leitfaden Industrie 4.0 - Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand**. VDMA Forum Industrie 4.0. Frankfurt: Springer Vieweg. p. 32, 2015.
- ARGENTA, C.; DOYLE, J. **Discrete multi-agent plan recognition: recognizing teams, goals, and plans from action sequences**. International Conference on Agents and Artificial Intelligence. Rome: Springer. p. 212-228, 2017.
- ARMENTANO, M.; AMANDI, A. Plan recognition for interface agents. **Artificial Intelligence Reviews**, v. 28, n. 1, p. 131-162, 2007.
- ASANOVIC, K.; BODIK, R.; CATANZARO, B.; GEBIS, J.; HYSBANDS, P. The landscape of parallel computing research. **Berkeley Technical Report**, p. 1-54, 2006.
- ASARE, P.; BROMAN, D.; LEE, E.; TORNGREN, M.; SUNDER, S. Cyber-Physical Systems.org. **Cyber-Physical Systems.org**, 2015. Disponível em: <<http://cyberphysicalsystems.org>>. Acesso em: 28 Dezembro 2015.

- ASEF-VAZIRI, A.; LAPORTE, G. Loop based facility planning and material handling. **European Journal of Operational Research**, v. 164, n. 1, p. 1-11, 2005.
- AZAIÉZ, S.; BOC, M.; CUDENNEC, L.; CIMOES, M.; HAUPERT, J. Towards flexibility in future industrial manufacturing: a global framework for self-organization of production cells. **Procedia Computer Science**, v. 83, n. 1, p. 1268-1273, 2016.
- BABIC, B.; MILJKOVIC, Z.; VUKOVIC, N.; ANTIC, V. Towards implementation and autonomous navigation of an intelligent Automated Guided Vehicle in Material Handling Systems. **Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Mechanical Engineering**, v. 36, n. 1, p. 25-40, 2012.
- BAGHERI, B.; BEHRAD, Y.; SHANHU, K.; KAO, H.; LEE, J. Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. **IFAC Papers On Line**, 48, n. 3, p. 1622-1627, 2015.
- BAHETI, R.; GILL, H. Cyber-physical systems. In: SAMAD, T.; ANNASWAMY, A. **The impact of Control Technology**. on-line: [ieeecss.org](http://ieeecss.org): IEEE Systems Society. p. 161-166, 2010.
- BALLOU, R. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / Logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BÁNYAI, Á.; ILLES, B.; GLISTAU, E.; MACAHADO, N.; TAMAS, P.; MANZOOR, F.; BANYAI, T. Smart cyber-physical manufacturing: extended and real-time optimization of logistics resources in matrix production. **Applied Sciences**, v. 9, n. 1287, p. 1-33, 2019.
- BARBANCHO, J.; LEON, C.; MOLINA, J.; BARBANCHO, A. **Using artificial intelligence in routing schemes for wireless networks**. International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Berlin: Springer. p. 475-482, 2006.
- BASS, T. Intrusion detection systems and multisensor data fusion: creating cyberspace situational awareness. **Communications of the ACM**, v. 43, n. 4, p. 99-105, 2000.
- BAUER, W.; SCHLUND, S.; MARRENBACH, D.; GANSCHAR, O. **Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland**. Fraunhofer Institut. Stuttgart, p. 46. 2014.
- BCG. **Industry 4.0 - The future of productivity and growth in manufacturing industries**. The Boston Consulting Group. Boston, p. 20. 2015.
- BEALE, R.; JACKSON, T. **Neural computing: an introduction**. New York: Taylor & Francis, 1990.
- BEAMON, B. Performance, reliability, and performability of material handling systems. **International Journal of Production Research**, 36, n. 2, p. 377-393, 1998.
- BERTO, R.; NAKANO, D. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**. p. 65-76, 2000.
- BHAGAT, P. **Pattern Recognition in Industry**. New Jersey: Elsevier, 2005.
- BISHOP, C. **Neural Networks for Pattern Recognition**. Oxford: Clarendon Press, 1995.
- BISHOP, C. **Pattern Recognition and Machine Learning**. Singapore: Springer Science+Business Media, 2006.

- BLADON, P.; HALL, R.; WRIGHT, W. **Situation assessment using graphical models**. International Conference on Information Fusion. Annapolis: IEEE. p. 886-893, 2002.
- BLANES, D.; INSFRAN, E.; ABRAHÃO, S. REquirements engineering in the development of multi-agent systems: a systematic review. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 5788, n. 1, p. 510-517, 2009.
- BLOM, H.; SHARPANSKYKH, A. Modelling situation awareness relations in a multiagent system. **Applied Intelligence**, v. 43, n. 2, p. 412-423, 2015.
- BOHÁCS, G.; RINKÁCS, A. Development of novel material flow simulation model for the integration of spatial and process relevant information. **Logistics Journal**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2016.
- BONABEAU, E.; DORIGO, M.; THERAULAZ, G. **Swarm Intelligence: from natural to artificial systems**. Oxford: University Press, 1999.
- BONNET, P.; DUCKER, P.; KUBLAK, A. A brief introduction to augmented reality. **Advances in Embedded Interactive Systems**, Passau, v. 2, n. 4, p. 5-6, 2014.
- BOSSE, E.; ROY, J.; GRENIER, D. **Data fusion concepts applied to a suite of dissimilar sensors**. Conference on Electrical and Computer Engineering. Alberta: IEEE. p. 692-695, 1996.
- BOUSBIA, S.; TRENTESAUX, D. **Self-organization in distributed manufacturing control: state-of-the-art and future trends**. IEEE international Conference on Systems, Man and Cybernetics. Tunisia: IEEE. p. 1-6, 2002.
- BOWDEN, J.; RUSNOCK, C. **Evaluation of human machine interface design factors on situation awareness and task performance**. International Meeting of the Human Factors and Ergonomic Society. Los Angeles: HFES. p. 1361-1365, 2015.
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D.; COOPER, M.; BOWERSOX, J. **Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos**. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D. **Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D.; COOPER, M. **Gestão logística de cadeias de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BRAVE, S.; NASS, C. Emotion in human-computer interaction. In: JACKO, J.; SEARS, A. **The Human-Computer Interaction Handbook**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, p. 81-93, 2003.
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLEN, M.; ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an Industry 4.0 perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.
- BROY, M.; CENGARLE, M.; GEISBERGER, E. Cyber-Physical Systems: imminent challenges. In: CALINESCU, R.; GARLAN, D. **Large-Scale Complex IT Systems: development, operation and management**. Oxford: Springer Link. p. 1-28, 2012.
- BROY, M.; GEISBERGER, E. **Cyber-Physical Systems - Driving force for innovation in mobility, health, energy and production**. Berlin: acatech, 2011.
- BRYMAN, A. **Research methods and organizational studies**. London: Unwin Hyman, 1989.

- BUCKELES, B.; PETRY, F. **Genetic Algorithms**. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1992.
- BUI, H.; VENKATESH, S.; WEST, G. Policy recognition in the abstract hidden Markov model. **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 17, n. 1, p. 451-499, 2002.
- BUSSMANN, S.; SCHILD, K. **Self-organizing manufacturing control: an industrial application of agent technology**. International Conference on MultiAgent Systems. Boston: IEEE. p. 1-8, 2002.
- CACCIABUE, P. **Modelling and simulation of human behaviour in system control**. London: Springer-Verlag, 1998.
- ÇAGDAS, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 1, p. 77-87, 2011.
- CANEDO, A.; AL-FARUQUE, M. **Towards parallel execution of IEC 61131 industrial cyber-physical systems applications**. Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition. Dresden: IEEE. p. 1-4, 2012.
- CANNAN, J.; HUOSHENG, H. Human-Machine Interface (HMI): a survey. **Technical Report of School of Computer Science & Electronic Engineering of University of Essex**. p. 1-16, 2010.
- CÁRDENAS, A.; AMIN, S.; SASTRY, S. Secure Control: Towards Survivable Cyber-Physical Systems. **International Conference on Distributed Computing Systems Workshop**, Beijing. p. 495-500, 2008.
- CARTER, J.; PEARSON, J.; PENG, L. Logistics barriers to international operations: the case of the people's republic of China. **Journal of Business Logistics**. p. 129-135, 1997.
- CASSIMATIS, N. Artificial intelligence and cognitive modelling have the same problem. **Theoretical Foundations of Artificial General Intelligence**, v. 4, n. 1, p. 11-24, 2012.
- CESTA, A.; CORTELLESA, G.; DENIS, M.; DONATI, A.; FRATINI, S.; ODDI, A.; POLICELLA, N.; RAVENAU, E.; SCHULSTER, J. AI solves mission planner problems. **IEEE Intelligent Systems**, v. 22, n. 4, p. 12-19, 2007.
- CHAKRABARTI, A. A course for teaching design research methodology. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 24, n. 1, p. 317-334, 2010.
- CHARNIAK, E.; GOLDMAN, R. A Bayesian model of plan recognition. **Artificial Intelligence**, v. 64, n. 1, p. 53-79, 1993.
- CHARNIAK, E.; MCDERMOTT, D. **Introduction to Artificial Intelligence**. Reading: Addison-Wesley, 1985.
- CHARNIAK, E.; SHIMONY, S. Cost-based abduction and MAP explanation. **Artificial Intelligence**, v. 66, n. 2, p. 345-374, 1994.
- CHAVEZ, R.; YU, W.; JACOBS, M.; FYNES, B.; WIENGARTEN, F.; LECUNA, A. Internal lean practices and performance: the role of technological turbulence. **International Journal of Production Economics**, v. 160, n. 1, p. 157-171, 2015.
- CHEN, B.; WAN, J.; SHU, L.; LI, P.; MUKHURJEE, M.; YIN, B. Smart factory of Industry 4.0: key technologies, application case, and challenges. **IEEE Access**, v. 6, n. 2018, p. 6505-6519, 2018.



- CHEN, P.; LIU, P.; YEN, J.; MULLEN, T. **Experience-based cyber situation recognition using relaxable logic patterns**. IEEE Multi-disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situations Awareness and Decision Support. New Orleans: IEEE. p. 243-250, 2012.
- CHEN, S.; JAKEMAN, A.; NORTON, J. Artificial intelligence techniques: an introduction to their use for modelling environmental systems. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 78, n. 1, p. 379-400, 2008.
- CHEN, T.; HSIEH, L. On Visualization of Cocitation Networks. **International Conference of Information Visualization**. p. 470-475, 2007.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para redução de custos e melhoria de serviços**. São Paulo: Pioneira, 1997.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: criando redes que agregam valor**. São Paulo: Thompson Learning, 2007.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- CHU, H.; EGBELU, C.; WU, C. ADVISOR: a computer-aided material handling equipment selection system. **International Journal of Production Research**, v. 33, n. 12, p. 3311-3329, 1995.
- CHUNG, J. Estimating arrival times of transportation jobs for automated material handling in LCD fabrication facilities. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 35, n. 1, p. 112-119, 2015.
- CIMINI, C.; PEZZOTA, G.; CAVALIERI, S. Industry 4.0 technologies impacts in the manufacturing and supply chain landscape: an overview. In: BORANGIU, T.; TRENTESAUX, D.; THOMAS, A.; LEITAO, P.; OLIVEIRA, J. **Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing**. Switzelang: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 109-120, 2017.
- COOPER, H. **Synthesizing research: A guide for literature reviews**. 3rd. ed. London: SAGE Publications, 1998.
- CORTES, U.; SANCHEZ-MARRE, M.; CECCARONI, L. Artificial intelligence and environmental decision support systems. **Applied Intelligence**, v. 13, n. 1, p. 77-91, 2000.
- CPSIIT. Cyber-Physical Systems Innovation Hub. **Indian Institute of Technology Hyderabad**, 2012. Disponível em: <<http://cps.iith.ac.in/cpsiit/>>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- CROSS, S.; WALKER, E. DART: applying knowledge based planning and scheduling to crisis action planning. In: ZWEBEN, M.; FOX, M. **Intelligent Scheduling**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers. p. 711-729, 1994.
- CSCMP. CSCMP: educating and connecting the world's supply chain professionals. **Council of Supply Chain Management Professionals**, 2017. Disponível em: <<http://cscmp.org>>. Acesso em: 11 Agosto 2017.
- CYBERPHYSICALSYSTEMS. Cyber-Physical Systems. **CyberPhysicalSystems.org**, 2019. Disponível em: <<http://cyberphysicalsystems.org>>. Acesso em: 15 Março 2017.
- DAHLBOM, A. **Petri Nets for Situation Recognition**. Skovde: Orebro University, 2011.

- DAI, J.; LEE, N. Economic feasibility analysis of flexible material handling systems: a case study in the apparel industry. **International Journal of Production Economics**, v. 136, n. 1, p. 28-36, 2012.
- DAMM, W.; ACHATZ, R.; BEELZ, K.; BROY, M.; DAEMBKES, H.; GRIMM, K.; LIGGESMEYNER, P. Nationale Roadmap Embedded Systems. In: BROY, M. **Cyber-Physical Systems**. Berlin: Springer. p. 67-136, 2010.
- DASARATHY, B. Sensor fusion potential exploration - innovative architectures and illustrative applications. **Proceedings of the IEEE**, v. 85, n. 1, p. 24-38, 1997.
- DAUGHERTY, P. Review of logistics and supply chain relationship literature and suggested research agenda. **International Journal of Applied Management and Technology**. p. 16-31, 2011.
- DEMIRIS, Y. Prediction of intent in robotics and multi-agent systems. **Cognitive Processing**, v. 8, n. 3, p. 151-158, 2007.
- DENBY, B.; LE HEGARAT-MASCLEB, S. Swarm intelligence in optimisation problems. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v. 502, n. 2/3, p. 364-368, 2003.
- DERLER, P.; FENG, T.; LEE, E.; MATIC, S.; PATEL, H.; ZHAO, Y.; ZOU, J. PTIDES: a programming model for distributed real-time embedded systems. **Berkeley Technical Report**, p. 1-10, 2008.
- DERLER, P.; LEE, E.; SANGIOVANNI-VINCENELLI, A. Modeling Cyber-Physical Systems. **Proceedings of the IEEE**. p. 13-28, 2012.
- DEVEDZIC, V.; RADOVIC, D. A framework for building intelligent manufacturing systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C**, v. 29, n. 3, p. 422-439, 1999.
- DHAR, V.; STEIN, R. **Intelligent Decision Support Methods**. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- DIX, A.; FINLAY, J.; ABOWD, G.; BEALE, R. **Human-computer interaction**. London: Pearson, 2003.
- DORIGO, M.; BONABEAU, E.; THERAULAZ, G. Ant algorithms and stigmergy. **Future Generations Computing Systems**, v. 16, n. 1, p. 851-81, 2000.
- DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 26, n. 1, p. 29-41, 1996.
- DORN, J. Cas-based reactive scheduling. In: KERR, R.; SZELKE, E. **Artificial Intelligence in Reactive Scheduling**. Budapest: Springer International Publishing. p. 32-50, 1995.
- DORNIER, P.; ERNEST, R.; FENDER, M.; KOUVELIS, P. **Logística e operações globais**. São Paulo: Atlas, 2000.
- DORST, W. **Implementation strategy Industry 4.0**. Berlin: Kehrberg Druck Produktion Service, 2016.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industry 4.0: hit or hype ? **IEEE Industrial Electronics Magazine**. p. 56-28, Junho 2014.
- DREHER, A.; GASSEBNER, M.; SIEMERS, L. Globalization, economic freedom and human rights. **Journal of Conflict Resolution**, 56, n. 3, p. 516-546, 2012.

- DRESCH, A.; LACERDA, D.; ANTUNES JR, J. **Design Science Research - método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- DRESSLER, F. **Self-organization in ad hoc networks: overview and classification**. University of Erlangen. Erlangen, p. 1-12. 2006.
- DROZDOV, D.; PATIL, S.; VYATKIN, V. Formal modelling of distributed automation CPS with cp-agnostic software. In: BORANGIU, T.; TRENTESAUX, D.; THOMAS, A.; LEITAO, P.; OLIVEIRA, J. **Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing**. Switzelang: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 35-46, 2017.
- DUFLOU, J.; VANCZA, J.; AERENS, R. Computer aided process planning for sheet metal bending: a state of the art. **Computers in Industry**, v. 56, n. 1, p. 747-771, 2005.
- DUSIRE, S.; MUNDUTEGUY, C. Intent recognition and situation awareness in transport activities. **Human Factors and Ergonomics**, v. 44, n. 1, p. 173-176, 2000.
- EASON, K. Ergonomic perspective on advances in human-computer interaction. **Ergonomics**, v. 34, n. 6, p. 721-741, 1991.
- ELATTAR, M.; WENDT, V.; JASPERNEITE, J. Communications for Cyber-Physical Systems. In: JESCHKE, S.; BRECHER, C.; SONG, H.; RAWAT, D. **Industrial Internet of Things'**. Switzeland: Springer International Publishing. p. 347-372. 2016.
- ELMENREICH, W. An Intorduction to Sensor Fusion. **Research Report**, v. 47, n. 1, p. 1-28, 2001.
- ENDESLEY, M.; JONES, D. **Designing for Situation Awareness: an approach to user-centered design**. New York: CRC Press, 2004.
- ENDSLEY, M. **Design and evaluation for situation awareness enhancement**. Human Factors Society Annual Meeting. Santa Monica: Sage Publications. p. 97-101, 1988.
- ENDSLEY, M. Theoretical underpinnings of situation awareness: a critical review. In: ENDSLEY, M.; GARLAND, D. **Situation Awareness Analysis and Measurement**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates. p. 3-32, 2000.
- ESCH, J. Audiovisual information fusion in human-computer interfaces and intelligent environments: a survey. **Proceedings of IEEE**, v. 98, n. 10, p. 1690-1691, 2010.
- ESTERLE, L.; GROSU, R. Cyber-physical systems: challenge of the 21st century. **Elektrotechnik & Informationstechnik**, v. 133, n. 7, p. 299-303, 2016.
- EU. Factories of the Future. **Horizon 2020**, 2017. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/factories-of-the-future\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html)> Acesso em: 9 Setembro 2017.
- FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. A critical investigariion of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. **Production planning & control**, v. 29, n. 8, p. 633-644, 2018.
- FERBER, J. **Multi-agent Systems: an introduction to distributed artificial intelligence**. Michigan: Assion-Wesley, 1999.
- FERNANDES, A. **Inteligência Artificial**. Florianópolis: Visual Books, 2003.
- FISCHER, G. User modeling in human-computer interacion. **User modeling and user-adapted interaction**, v. 11, n. 1, p. 65-86, 2001.
- FORREST, S. Genetic Algorithms: principles of natural selection applied to computation. **Science**, v. 261, n. 5123, p. 872-878, 1993.

- FOWLER, M. **Patterns of Enterprise Application Architecture**. New York: Addison Wesley, 2003.
- FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- FRANK, A.; DALENOGARE, L.; AYALA, N. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, n. 2019, p. 15-26, 2019.
- FRANZINI, G.; ARINGHERI, S.; RAZZANELLI, M.; POLLINI, L.; INNOCENTI, M. Human-machine interface for multi-agent systems management using the descriptor function framework. In: HODICKY, J. **Modelling and simulation for autonomous systems**. Rome: Springer. p. 25-39, 2016.
- FRAZELE, E. **Supply Chain Strategy: the logistics of supply chain management**. New York: McGraw-Hill, 2001.
- FREITAS, P. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- FULLERTON, R.; KENNEDY, F.; WIDENER, S. Lean manufacturing and firm performance: the incremental contribution of lean management accounting practices. **Journal of Operational Management**, 32, n. 7-8, p. 414-428, 2014.
- GATTORNA, J.; DAY, A.; HARGREAVES, J. Effective logistics management. **Logistics Information Management**, v. 4, n. 2, p. 2-86, 1991.
- GEISBERGER, E.; CENGARLE, M.; KEIL, P.; NIEHAUS, J.; THIEL, C.; THONNISSEN, H. **Cyber-Physical Systems: driving force for innovation in mobility, health, energy and production**. Berlin: Acatech, 2011.
- GEISBERGER, E.; BROY, M. **Living in a networked world - Integrated research agenda Cyber-Physical Systems**. München: Herbert Utz Verlag, 2014.
- GHNEMAT, R.; BERTELLE, C.; DUCHAMP, G. Modeling spatial organization with swarm intelligence processes. **International Journal of Bio-inspired Computation**, v. 2, n. 6, p. 374-382, 2010.
- GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018.
- GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1996.
- GOMMA, W. Cyber Physical Systems: prospects and challenges. **arXiv**, v. 1802, n. 05233, p. 1-12, 2018.
- GRANLUND, A. **Competitive internal logistics systems through automation**. Tese de Doutorado: Mälardalen University Sweden, 2011.
- GRANLUND, A.; WIKTORSSON, M. Automation in internal logistics: strategic and operational challenges. **International Journal of Logistics System and Management**, v. 18, n. 4, p. 538-558, 2014.
- GROOVER, M. **Automation. production systems, and computer-integrated**. Great Barrington: The North River Press, 2004.
- GUNES, V.; PETER, S.; GIVARGIS, T.; VAHID, F. A Survey on Concepts, Applications, and Challenges in Cyber-Physical Systems. **Transactions on Internet and Information Systems** p. 4242-4268, 2014.

- GUPTA, T.; DUTTA, S. Analysing materials handling needs in concurrent/simultaneous engineering. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 14, n. 9, p. 68-82, 1994.
- HACKETT, J.; SHAH, M. Multi-sensor fusion: a perspective. **Trends in Optical Engineering**, v. 1, n. 1, p. 99-118, 1993.
- HALL, D. An Introduction to Multisensor Data Fusion. **Proceedings of the IEEE**, v. 85, n. 1, p. 6-23, 1997.
- HAMMERSTRON, D. Working with neural networks. **IEEE Spectrum**, p. 46-53, Julho 1993.
- HARRINGTON, L. Logistics for profit. **Fortune**, n. 133, p. 64-78, 1996.
- HARRISON, A.; NEW, C. The role of coherent supply chain strategy and performance management in achieving competitive advantage: an international survey. **Journal of Operational Research Society**, v. 53, n. 1, p. 263-271, 2002.
- HAUGELAND, J. **Artificial Intelligence: the very idea**. Cambridge: The MIT Press, 1985.
- HAYKIN, S. **Neural Networks: a comprehensive foundation**. New York: MacMillan College Publishing Company, 1999.
- HAYKIN, S. **Neural networks and learning machines**. New York: Prentice Hall, 2009.
- HENKE, M.; HEGMANN, T. Geschäftsmodelle für die Logistik 4.0. In: VOGEL-HEUSER, B.; BAUEMHANSL, T.; HOMPEL, M. **Handbuch Industrie 4.0: produktion, automatisierung und logistik**. Dortmund: Springer Fachmedien Wiesbaden. p. 1-11, 2016.
- HERAGU, S.; CAI, X.; KRISHNAMURTHY, A.; MAIMBORG, C. Analytical models for analysis of automated warehouse material handling systems. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 22, p. 6833-6861, 2011.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for Industrie 4.0 scenarios**. 49th Hawaii International Conference on System Sciences. Koloa: IEEE. p. 3928-3937, 2016.
- HEVNER, A. A three cycle view of design science research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 1, p. 87-92, 2007.
- HEVNER, A.; MARCH, S.; PARK, J. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.
- HOMPEL, M.; HENKE, M. Logistik 4.0. In: BAUEMHANSL, T.; HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSER, B. **Industrie 4.0 in produktion, automatisierung und logistik**. Stuttgart: Springer Fachmedien Wiesbaden. p. 615-624, 2014.
- HOSNI, Y. Inference engine for material handling selection. **Computers Industry Engineering**, v. 17, n. 1-4, p. 79-84, 1989.
- HRYCEJ, T. **Modular learning in neural networks: a modularized approach to neural network classification**. New York: John Wiley & Sons, 1992.
- HU, F.; LU, Y.; VASIKALOS, A.; HAO, Q.; MA, R.; PATIL, Y.; ZHANG, T.; LU, J.; LI, X.; XIONG, N. Robust cyber-physical systems: concept, models, and implementation. **Future Generation Computer Systems**, v. 56, p. 449-475, 2016.

- HUA, H.; LI, B.; SHAN, Y.; ZHANG, H.; ZHAI, H. **Virtual organism: generative tool based on multi-agent system**. International Conference on Computer Aided Architectural Design Research. Taiwan: ICCAADR. p. 625-634, 2009.
- IICONSORTIUM. Industrial Internet Consortium. **Industrial Internet Consortium**, 2017. Disponível em: <<http://www.iiconsortium.org/>>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- ILOS. **Relatório anual dos custos logísticos no Brasil**. Instituto de Logística e Supply Chain - ILOS. Rio de Janeiro. 2016.
- IMOUSSATEN, A.; MONTMAIN, J.; MAURIS, G. A multicriteria decision support system using a possibility representation for managing inconsistent assessments of experts involved in emergency situations. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 29, n. 1, p. 50-83, 2013.
- INIBHUNU, C.; MCGREGOR, C. **Machine learning model for temporal pattern recognition**. IEEE International Student Conference. Ottawa: IEEE. p. 1-4, 2016.
- ISAFIADE, O.; BAGULA, A. **Efficient frequent pattern knowledge for crime situation recognition in developing countries**. Proceedings of the Annual Symposium on Computing for Development. Cape Town: ACM. p. 1-2, 2013.
- IVARI, J. A paradigmatic analysis of information systems as a design science. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 5, p. 1-23, 2007.
- JACOB, R. Eye movement-based human-computer interaction techniques: toward non-command interfaces. In: HARSTON, H.; HIX, D. **Advances in Human-Computer Interaction**. New Jersey: Ablex Publishing Corporation, p. 151-190, 1993.
- JACOB, R. Natural dialogue in modes other than natural language. In: BEUN, R.; BAKER, M.; REINER, M. **Dialogue and Instruction**. Berlin: Springer-Verlag, p. 289-301, 1995.
- JAIN, A.; MAO, J.; MOHIUDDIN, K. Artificial Neural Networks: a tutorial. **IEEE Computer**, v. 29, n. 1, p. 31-44, 1996.
- JAMALUDIN, J.; ROHANI, J. **Cyber-physical systems (CPS): state of the art**. International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering. Pakistan: IEEE. p. 1-5, 2018.
- JANIKOVA, D.; BEZAK, P. **Prediction of production line performance using neural networks**. International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition. Lodz: IEEE. p. 59-63, 2016.
- JANSEN, T.; AMIRIJOO, M.; TURKE, U.; JORGUSESKI, L.; ZEHERBERG, K.; NASCIMENTO, R.; SCHMELZ, L.; BALAN, I. **Embedding multiple self-organization functionalities in future radio access networks**. IEEE Vehicular Technology Conference. Barcelona: IEEE. p. 1-5, 2009.
- JATZKOWSKI, J.; KLEINJOHANN, B. Towards self-reconfiguration of real-time communication within cyber-physical systems. **Procedia Technology**, v. 15, n. 1, p. 54-61, 2014.
- JAZDI, N. **Cyber Physical Systems in the context of Industry 4.0**. 19th IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. Cluj-Napoca: IEEE. 2014.
- JONSSON, P. **Logistics and Supply Chain Management**. 1<sup>o</sup>. ed. Berkshire: McGraw-Hill Education, 2008.

- KAGERMANN, H. Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: BAUEMHANSL, T.; HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSER, B. **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik**. Stuttgart: Springer Vieweg, p. 603-614, 2014.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Frankfurt: Acatech, 2013.
- KANNO, T.; NAKATA, K.; FURUTA, K. A method for team intention inference. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 58, n. 4, p. 393-413, 2003.
- KARANDE, P.; CHAKRABORTY, S. Material handling equipment selection using weighted utility additive theory. **Journal of Industrial Engineering**, v. 2013, n. 1, p. 1-10, 2013.
- KARLIK, B.; OLGAC, V. Performance analysis of various activation functions in generalized MLP architectures of neural networks. **International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems**, v. 1, n. 4, p. 111-122, 2010.
- KARLSSON, C. **Researching operations management**. New York: Routledge, 2009.
- KARTNIG, G.; GRÖSEL, B.; ZNIC, N. Past, state-of-the-art and future of intralogistics in relation to megatrends. **FME Transactions**, 40, p. 193-200, 2012.
- KASIE, F.; BRIGHT, G.; WALKER, A. Decision support systems in manufacturing: a survey and future trends. **Journal of Modelling in Management**, v. 12, n. 3, p. 432-454, 2017.
- KE, J.; LIU, X. **Empirical analysis of optimal hidden neurons in neural network modeling for stock prediction**. Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application. Wuhan: IEEE. p. 828-832, 2008.
- KEQIANG, L. Internet Plus: premier Li's new tech tool. **The State Council of The People's Republic of China**, 2015. Disponível em: <[http://english.gov.cn/premier/news/2015/03/13/content\\_281475070887811.htm](http://english.gov.cn/premier/news/2015/03/13/content_281475070887811.htm)>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- KIHLÉN, T. **Logistics-based competition: a business model approach**. Tese de Doutorado: Linköping University Sweden, 2007.
- KIM, B.; SHIN, J.; CHAE, J. Simple blocking prevention for bay type path-based automated material handling systems. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 44, n. 7-8, p. 809-816, 2009.
- KIM, J.; KIM, H.; LAKSHMANAN, K.; RAJKUMAR, R. **Parallel scheduling for cyber-physical systems: analysis and case study on a self-driving car**. International Conference on Cyber-Physical Systems. Philadelphia: IEEE. p. 31-40, 2013.
- KIM, T. **Pattern recognition using artificial network: a review**. International Conference on Information Security and Assurance. Miyazaki: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 138-148, 2010.
- KLAINE, P.; IMRAN, A.; ONIRETI, O.; SOUZA, R. A survey of machine learning techniques applied to self-organizing cellular networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 19, n. 4, p. 2392-2431, 2017.
- KLEBANOV, B.; MUFAZALOU, A.; MYASOEDOV, I.; KRYMOV, E. **Use of Plant Simulation for improvement technological and business processes of metallurgical manufacture**. Chinese Control Conference. Chengdu: IEEE. p. 9681-9684, 2016.

- KLOTZ, T.; SCHNEHERR, J.; SESLER, N.; STRAUBE, B.; TUREK, K. Automated formal verification of routing in material handling systems. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 10, n. 4, p. 900-915, 2013.
- KOREN, Y.; HEISEL, U.; JOVANE, F.; MORIWAKI, T.; PRITSCHOW, G.; ULSOY, G.; BRUSSEL, H. Reconfigurable Manufacturing Systems. **CIRP Annals**, v. 48, n. 2, p. 6-12, 1999.
- KOTSIANTIS, S. Supervised machine learning: a review of classification techniques. **Informatica**, v. 31, n. 1, p. 249-268, 2007.
- KURKOVA, V. Kolmogorov's theorem and multilayer neural networks. **Neural Networks**, v. 5, n. 1, p. 501-506, 1992.
- KURZWEIL, R. **The Age of Intelligenet Machines**. Cambridge: The MIT Press, 1992.
- LACERDA, D.; DRESCH, A.; PROENCA, A.; ANTUNES, J. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.
- LAI, M.; UANG, H.; YANG, S.; ZHAO, J.; XU, Y. Cyber-physical logistics systems-based vehicle routing optimization. **Journal of Industrial and Management Optimization**. p. 701-715, 2014.
- LAMBERT, D. **Situation for situation awareness**. International Conference on Information Fusion. Montreal: ICIF. p. 1-7, 2001.
- LAMBERT, D. An exegesis of data fusion. In: REZNIK, L.; KREINOVICH, V. **Soft computing in measurement and information aquisition**. Berlin: Springer Verlag. p. 68-75, 2003.
- LAMBERT, D.; STOCK, J.; VANTINE, J. **Administração estratégica da logística**. São Paulo: Vantine Consultoria, 1998.
- LAW, A.; KELTON, W. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 1991.
- LAXHAMMAR, R. **Artificial Intelligence for Situation Assessment**. Stockholm: Master Thesis in Computer Science at School of Computer Science and Engineering Royal Institute of Technology, 2007.
- LEE, E. Cyber Physical Systems: Design Challenges. **11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)**. p. 363-369, 2008.
- LEE, E. CPS Foundations. **Design Automation Conference**. p. 737-742, 2010.
- LEE, E. The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models. **Sensors**. p. 4837-4869, 2015.
- LEE, E.; SESHIA, S. **Introduction do Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach**. 2°. ed.: LeeSeshia.org, 2015.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **REsearch Letters**, v. 3, n. 1, p. 18-23, 2014.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters 3**. p. 18-23, 2015.
- LEITÃO, P. **Self-organization in manufacturing systems: challenges and opportunities**. IEEE International conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems. Venice: IEEE. p. 174-179, 2008.



- LEITÃO, P.; BARBOSA, J.; TRENTESAUX, D. Bio-inspired multi-agent systems for reconfigurable manufacturing systems. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 25, n. 1, p. 934-944, 2012.
- LEITÃO, P.; COLOMBO, A.; KARNOUSKOS, S. Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: prototype implementations and challenges. **Computers in Industry**, v. 81, n. 1, p. 11-25, 2015.
- LEVY, Y.; ELLIS, T. A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. **Informing Science Journal**. p. 181-212, 2006.
- LEWANDOWSKI, M.; GATH, M.; WERTHMANN, D.; LAWO, D. **Agent-based control for material handling systems in in-house logistics**. Smart SysTech. Nuremberg: VDE Verlag GmbH. p. 1-5, 2013.
- LEZYNSKI, P.; SZCZESNIAK, P.; WASKOWICZ, B.; SMOLENSKI, R.; DROZDZ, W. Design and implementation of a fully controllable cyber-physical system for testing energy storage systems. **IEEE Access**, v. 7, n. 2019, p. 47259-47272, 2019.
- LIN, J.; CHANG, K.; HUANG, C. **Dynamic vehicle allocation in automated material handling system**. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Xiamen: IEEM. p. 1523-1527, 2010.
- LIN, J.; HUANG, C. **A novel vehicle assignment method for automated material handling system in semiconductor manufacturing**. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Changchun: IEEM. p. 1627-1631, 2011.
- LIU, C.; CHEN, F.; ZHU, J.; ZHANG, Z.; ZHANG, C.; ZHAO, C.; WANG, T. Characteristic, architecture, technology, and design methodology of cyber-physical systems. In: CHEN, F.; LUO, Y. **Industrial IoT Technologies and Applications**. Wuhu: Springer Link. p. 230-246, 2017.
- LU, C.; SAIFULLAH, A.; LI, B.; SHA, M.; GONZALEZ, H.; GUNATILAKA, D.; WU, C.; NIE, L.; CHEN, Y. Real-time wireless sensor-actuator networks for industrial cyber-physical systems. **Proceeding of the IEEE**, v. 104, n. 5, p. 1013-1024, 2016.
- LU, J.; ZHANG, G.; RUAN, D. Intelligent multi-criteria fuzzy group decision-making for situation assessments. **Soft Computing**, v. 12, n. 3, p. 289-299, 2008.
- LU, T.; LIN, J.; ZHAO, L.; LI, Y.; PENG, Y. An Analysis of Cyber Physical System Security Theories. **7th International Conference on Security Technology**. p. 19-21, 2014.
- LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2017.
- LUN, Y.; D'INNOCENZO, A.; SMARRA, F.; MALAVOLTA, I.; BENEDETTO, M. State of the art of cyber-physical systems security: an automatic control perspective. **Journal of Systems and Software**, v. 149, n. 1, p. 174-216, 2019.
- MADUREIRA, A.; PEREIRA, I.; SOUSA, N. **Self-organization for scheduling in agile manufacturing**. IEEE International Conference on Cybernetic Intelligent Systems. London: IEEE. p. 38-43, 2012.
- MAHESWARI, C.; PRYANKA, E.; THANGAVEL, S.; PARAMESWARI, P. Development of unmanned guided vehicle for material handling automation for industry 4.0. **International Journal of Recent Technology and Engineering**, v. 7, n. 4, p. 428-437, 2019.

- MAIER, M.; KORBEL, J.; BREM, A. **Industry 4.0: Solving the agency dilemma in supply networks through cyber physical systems**. 21st EurOMA Conference Operations Management in an Innovation Economy. Palermo: EurOMA. p. 1-10, 2014.
- MALHOTRA, V.; RAJ, T.; ARORA, A. Excellent techniques of manufacturing systems: RMS and FMS. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 137-142, 2010.
- MANSON, N. Is operations research really research? **Orion**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.
- MANUJ, I.; MENTZER, J.; BOWERS, M. Improving the rigor of discrete-event simulation in logistics and supply chain research. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 39, n. 3, p. 172-201, 2009.
- MARCH, S.; SMITH, G. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 1, p. 251-266, 1995.
- MARIAPPAN, R.; REDDY, P.; WU, C. **Cyber physical system using intelligent wireless sensor actuator networks for disaster recovery**. International conference on Computational Intelligence and Communication Networks. Jabalpur: IEEE. p. 95-99, 2015.
- MARWEDEL, P.; ENGEL, M. Efficient Computing in Cyber-Physical Systems. **International Conference on Embedded Computer Systems**, p. 328-332, 2012.
- MARTHUR, S.; DAVIDSON, E.; CATTERSON, V.; DIMEAS, A.; HATZIARGYRIOU, N.; PONCI, F.; FENABASHI, T. Multi-agent systems for power engineering - part I: concepts, approaches, and technical challenges. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 22, n. 4, p. 1743-1752, 2007.
- MCDERMID, J.; GUPTA, P.; TÖRNGREN, M. Deliverable D3.1 - Structured CPS market model. **CyPheERS - Cyber-Physical European Roadmap & Strategy**, 2014.
- MCKINSEY. **Industry 4.0 at McKinsey's model factories**. McKinsey & Company, Inc. New York, p. 12. 2016.
- MCMILLIN, B.; GILL, C.; CROW, M.; LIU, F.; NIEHAUS, D.; POTTHAST, A.; TAURITZ, D. Cyber-Physical Systems Distributed Control: the advanced electric power grid. **Electrical Energy Storage Applications and Technologies**, p. 1-2, 2007.
- MDIC. Rota 2030 - Mobilidade e Logística. **Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços**, 2017. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/noticias/2447-ministro-marcos-pereira-lanca-rota-2030-mobilidade-e-logistica>>. Acesso em: 9 dez. 2017.
- MERKERT, J.; MUELLER, M.; HUBL, M. **A survey of the application of machine learning in decision support systems**. European Conference on Information Systems. Münster: ECIS. p. 1-15, 2015.
- METI. Ministry of Economy, Trade and Industry. **METI - Monodzukuri**, 2015. Disponível em: <[http://www.meti.go.jp/english/publications/pdf/journal2015\\_05a.pdf](http://www.meti.go.jp/english/publications/pdf/journal2015_05a.pdf)>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- MICHALSKI, R.; CARBONELL, J.; MITCHELL, T. **Machine Learning: an artificial intelligence approach**. Berlin: Springer-Verlag, 2013.
- MIERMEISTER, P.; KRAUS, W.; WINKLER, B.; POTT, A. **Cable-driven robots for the rapid deployment of fully automated material handling solutions**. International Symposium on Robotics and Robotik. Berlin: VDE-Verlag. p. 143-148, 2014.

- MIGUEL, P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- MIRHOSSEYNI, S.; WEBB, P. A hybrid fuzzy knowledge-based expert system and genetic algorithm for efficient selection and assignment of material handling equipment. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 1, p. 11785-11887, 2009.
- MIT. MIT - Advanced Manufacturing Innovation Forum. **Massachusetts Institute of Technology**, 2014. Disponível em: <<http://web.mit.edu/pie/amp/>>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- MITCHELL, T. **Machine Learning**. New York: McGraw-Hill, 1997.
- MOIS, G.; FOLEA, S.; SANISLAV, T.; MICLEA, L. **Communication in Cyber-Physical Systems**. International conference on System Theory, Control and Computing. Cheile Gradistei: IEEE. p. 303-307, 2015.
- MOLINA, E.; JACOB, E. Software-defined networking in cyber-physical systems: a survey. **Computers and Electrical Engineering**, v. In Press, p. 1-13, 2017.
- MÖLLER, D. **Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems - concepts, design methods, and applications**. Switzzeland: Springer International Publishing, 2016.
- MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: roots, expectations and R&D challenges. **Procedia CIRP**, v. 17, n. 1, p. 9-13, 2014.
- MOSTAFA, S.; AHMAD, M.; AHMAD, A.; ANNAMALAI, M. **Formulating Situation Awareness for Multi-agent Systems**. International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies. Kuching: IEEE. p. 48-53, 2013.
- MOSTERMAN, P.; ZANDER, J. Industry 4.0 as an Cyber-Physical System study. **Software and Systems Modeling**, 15, n. 1, p. 17-29, 2016.
- NAM, C.; JOHNSON, S.; LI, Y.; SEONG, Y. Evaluation of human-agent user interfaces in multi-agent systems. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, n. 1, p. 192-201, 2009.
- NASCIMENTO, D. **Metodologia do trabalho científico: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Forense, 2002.
- NG, K.; ABRAMSON, B. Uncertainty management in expert systems. **IEEE Intelligent Systems Applications**, v. 5, n. 1, p. 29-47, 1990.
- NOKHBATOLFOGHAHAAYEE, H.; MENHAJ, M.; SHAFIEE, M. Fuzzy desicion support system for crisis management with a new structure for decision making. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 3545-3552, 2010.
- NOVAES, A. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. São Paulo: Elsevier, 2007.
- NSF. Cyber-Physical Systems. **National Science Foundation**, 2017. Disponível em: <[https://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=503286](https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286)>. Acesso em: 9 Setembro 2017.
- OKE, S. A literature review on artificial intelligence. **International Journal of Information and Management Sciences**, v. 19, n. 4, p. 535-570, 2008.

- OKUDA, H.; HAYAKAWA, S.; SUZUKI, T.; TSUCHIDA, N. **Modeling on human behavior in man-machine cooperative system based on hybrid system framework**. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Roma: IEEE. p. 2534-2539, 2007.
- OLAVARRIETA, S.; ELLINGER, A. Resource-based theory and strategic logistics research. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 27, n. 9/10, p. 559-587, 1997.
- OSTERBO, O.; GRONDALEN, O. Benefits of self-organizing networks (SON) for mobile operators. **Journal of Computer Networks and Communications**, v. 2012, n. 1, p. 1-16, 2012.
- OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 2018, n. 1, p. 1-56, 2018.
- PALETTA, L.; DINI, A.; MURKO, C.; YAHYANEJAD, S.; SCHWARZ, M. **Towards real-time probabilistic evaluation of situation awareness from human gaze in human-robot interaction**. IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. Viena: IEEE. p. 247-248, 2017.
- PAN, C.; ZHANG, J.; QIN, W. Real-time OHT Dispatching Mechanism for the Interbay Automated Material Handling System with Shortcuts and Bypasses. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 30, n. 3, p. 663-675, 2017.
- PANTIC, M.; PENTLAND, A.; NIJHOLT, A.; HUANG, T. **Machine understanding of human behavior**. Artificial Intelligence for Human Computing. Twente: IJCAI. p. 13-24, 2007.
- PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, T.; WICKENS, C. A model for types and levels of human interaction with automation. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans**, v. 30, n. 3, p. 286-297, 2000.
- PARHI, K. **VLSI Digital Signal Processing Systems: design and implementations**. New Jersey: John Wiley, 1999.
- PARK, S.; KIM, J.-H.; FOX, G. Effective real-time scheduling algorithm for cyber physical systems society. **Future Generation Computer Systems**, v. 32, p. 253-259, 2014.
- PATHAN, A. **Security of Self-Organizing Networks**. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- PEI, S.; ZHAO, J.; ZHANG, N.; GUO, M. Methodology on developing an assessment tool for intralogistics by considering cyber-physical production systems enabling technologies. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 2019, n. 1, p. 1-7, 2019.
- PEREZ-CORTES, J.; GUARDIOLA, J.; PÉREZ-JIMÉNES, A. **Pattern recognition with embedded systems technology: a survey**. International Workshop on Database and Expert Systems Application. Linz: IEEE. p. 19, 2009.
- PICARD, A.; ANDERL, R. **Integrated component data model for smart production planning**. Seminário Internacional de Alta Tecnologia. Santa Bárbara d'Oeste: DiK. p. 1-6, 2014.
- PIRES, S. **Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos**. São Paulo: Atlas, 2012.
- PORTER, M. **Vantagem competitiva - criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1989.

- POWER, D. **Decision Support Systems: concepts and resources for managers.** Westport: Quorum Books, 2002.
- POZO, H. **Administração de recursos materiais e patrimoniais - uma abordagem logística.** São Paulo: Atlas, 2001.
- PRASSE, C.; NETTSTRAETER, A.; HOMPEL, M. **How IoT will change the design and operation of logistics systems.** 4th International Conference on the Internet of Things. Seoul: IEEE. p. 55-60, 2014.
- PREHOFER, C.; BETTSTETTER, C. Self-organization in communication networks: principles and design paradigms. **IEEE Communications Magazine.** p. 78-85, Julho 2005.
- PRODANOV, C.; FREITAS, E. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.
- PUJO, P.; PUNNAR, F. Cyber-physical Logistics System for Physical Internet. In: BORANGIU, T.; TRENTESAUX, D.; THOMAS, A.; CARDIN, O. **Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing.** Berlin: Springer Charm. p. 303-316, 2018.
- PWC. **Industry 4.0 - Opportunities and challenges of the industrial internet.** Pricewaterhouse Coopers. New York, p. 52. 2014.
- PWC. **Industry 4.0: building the digital enterprise.** Pricewaterhouse Coopers. New York, p. 36. 2016.
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP,** v. 52, n. 1, p. 173-178, 2016.
- QIU, J.; WU, Q.; DING, G.; XI, X.; FENG, S. A survey of machine learning for big data processing. **Journal on Advances in Signal Processing,** v. 2016, n. 1, p. 1-16, 2016.
- RAJKUMAR, R.; LEE, I.; SHA, L.; STANKOVIC, J. **Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution.** Design Automation Conference. Anaheim: DAC. p. 731-736, 2010.
- RAJNAI, Z.; KOCSIS, I. **Assessing Industry 4.0 readiness of enterprises.** Applied Machine Intelligence and Informatics. Slovakia: IEEE. p. 225-230, 2018.
- RHO, S.; VASILAKOS, A.; CHEN, W. Cyber physical systems technologies and applications. **Future Generation Computer Systems,** v. 56, p. 436-437, 2016.
- RIPKA, P.; TIPEK, A. **Modern Sensors Handbook.** London: ISTE Ltd, 2007.
- ROBLEK, V.; MESKO, M.; KRAPEZ, A. A complex view of Industry 4.0. **SAGE open,** p. 1-11, Junho 2016.
- ROCHE, R.; BLUNIERI, B.; MIRAOU, A.; HILARIE, V.; KOUKAN, A. **Multi-agent systems for grid energy management: a short review.** Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. Glendale: IEEE. p. 3341-3346, 2010.
- RODRIGUES, A.; BOWERSOX, D.; CALANTONE, R. Estimation of global and national logistics expenditures: 2002 data update. **Journal of Business Logistics,** v. 26, n. 2, p. 1-12, 2005.
- ROGERS, Y. The changing face of human-computer interaction in the age of ubiquitous computing. In: HOLZINGER, A.; MIESENBERGER, K. **USAB 2009.** Berlin: Springer-Verlag. p. 1-19, 2009.

- ROUSE, W. Models of human problem solving: detection, diagnosis, and compensation for system failures. **Automatica**, v. 19, n. 6, p. 613-625, 1983.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence - a modern approach**. New Jersey: Pearson Education, 2010.
- SÁ, J. **Pattern Recognition: concepts, methods and applications**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- SABERI, S.; YUSUFF, R. Neural network application in predicting advanced manufacturing technology implementation performance. **Neural Computing and Applications**, v. 21, n. 6, p. 1191-1204, 2012.
- SADASIVAM, U. Development of vibratory part feeder for material handling in manufacturing automation: A survey. **Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems**, v. 9, n. 4, p. 3-10, 2015.
- SAMANT, R.; AGRAWAL, A.; BEHERA, L. **Design of communication network for cyber physical system**. National Systems Conference. Noida: IEEE. p. 1-6, 2015.
- SAMUEL, A. Some studies in machine learning using the game of checkers. **IBM Journal of Research and Development**, v. 3, n. 3, p. 211-229, 1959.
- SANISLAV, T.; ZEADALLY, S.; MOIS, G.; FOUCHAL, H. **Multi-agent architecture for reliable cyber-physical systems (CPS)**. IEEE Symposium on Computers and Communications. Heraklion: IEEE. p. 1-6, 2017.
- SANISLAV, T.; MICLEA, L. Cyber-Physical Systems - Concept, Challenges and Research Areas. **Control Engineering and Applied Informatics**. p. 28-33, 2012.
- SANTOS, C.; MEHRSAI, A.; BARROS, A.; ARAUJO, M.; ARES, E. Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 972-979, 2017.
- SCHÄTZ, B.; TORGREN, M.; BENSALÉM, S.; CENGARLE, M.; PFEIFER, H.; MCDERMID, J.; PASSERONE, R.; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A. Research agenda and recommendations for action. **CyPhERS - Cyber-physical European Roadmap & Strategy**, 2015.
- SCHLECHTENDAHL, J.; KEINERT, M.; KRETSCHMER, F.; LECHLER, A.; VERL, A. Making existing production systems Industry-4.0 ready. **Production Engineering**, 9, n. 1, p. 143-148, 2014.
- SCHLICK, J. **Cyber-physical systems in factory automation - towards the 4th industrial revolution**. IEEE International Workshop on Factory Communication Systems. Lemgo: IEEE. p. 55-55, 2012.
- SCHMALER, R.; HAMMEL, C.; SCHMIDT, T.; SCHOEPS, M.; LUEBKE, J.; HUPFER, R. Strategies to Empower Existing Automated Material Handling Systems to Rising Requirements. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 30, n. 4, p. 440-447, 2017.
- SCHMIDTKE, N.; BEHRENDT, F.; THATER, L.; MEYBER, S. **Technical potentials and challenges within internal logistics 4.0**. International Conference on Logistics Operations Management. France: IEEE. p. 1-10, 2018.
- SCHUH, G.; POTENTE, T.; WESCH, C.; WEBER, A.; PRATE, J. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 19, n. 1, p. 51-56, 2014.

- SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. **Industrie 4.0 Maturity Index - Managing the Digital Transformation of Companies**. Munich: acatech, 2017.
- SCHULZE, L.; WULLNER, A. **The approach of automated guided vehicle systems**. IEEE International Conference Proceedings of Service Operations and Logistics and Informatics. Shanghai: IEEE. p. 6, 2006.
- SEEBACHER, G.; WINKLER, H.; OBEREGGER, B. In-plant logistics efficiency valuation using discrete event simulation. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 1, n. 1, p. 60-70, 2015.
- SEHA, S.; ZAMBERI, J.; FAIRU, A. **Design and simulation of integration system between automated material handling system and manufacturing layout in the automotive assembly line**. International Conference on Mechanical Engineering Research. Malaysia: ICMER. p. 1-10, 2017.
- SEITZ, K.-F.; NYHUIS, P. Cyber-physical production systems combined with logistics models - a learning factory concept for an improved production planning and control. **Procedia CIRP**, v. 32, p. 92-97, 2015.
- SEMOV, P.; AL-SHATRI, H.; TONCHEV, K.; POULKOV, V.; KLEIN, A. Implementation of machine learning for autonomic capabilities in self-organizing heterogeneous networks. **Wireless Personal Communications**, v. 92, n. 1, p. 149-168, 2017.
- SESHIA, S.; HU, S.; LI, W.; ZHU, Q. Design automation of cyber-physical systems: challenges, advances, and opportunities. **IEEE Transactions on Computer-aided Design of Integrated Circuits and Systems**, v. 36, n. 9, p. 1421-1434, 2017.
- SHAFIQ, S.; SANIN, C.; SZCZERBICKI, E.; TORO, C. Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: a specialized form of cyber physical system for Industrie 4.0. **Procedia Computer Science**, v. 60, p. 1146-1155, 2015.
- SHAKSHUKI, E.; MALIK, H.; SHELTAI, T. WSN in cyber physical systems: enhanced energy management routing approach using software agents. **Future Generation Computer Systems**, v. 31, p. 93-104, 2014.
- SHARMA, S.; AGRAWAL, J.; AGARWAL, S.; SHARMA, S. **Machine learning techniques for data mining: a survey**. IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research. Enathi: IEEE. p. 1-6, 2014.
- SHEELA, K.; DEEPA, S. Review on methods to fix number of hidden neurons in neural networks. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2013, n. 1, p. 1-11, 2013.
- SHI, J.; WAN, J.; YAN, H.; SUO, H. A Survey of Cyber-Physical Systems. **International Conference on Wireless Communications and Signal Processing**, 2011.
- SIEMENS. Siemens Tecnomatix. **Siemens PLM**, 2018. Disponível em: <<https://www.plm.automation.siemens.com>>. Acesso em: 5 June 2018.
- SIMON, H. **The Sciences of the Artificial**. Cambridge: MIT Press, 1996.
- SINGH, A.; THAKUR, N.; SHARMA, A. **A review of supervised machine learning algorithms**. International Conference on Computing for Sustainable Global Development. New Delhi: IEEE. p. 1310-1315, 2016.
- SINGH, V.; GAO, M.; JAIN, R. **Situation recognition: an evolving problem for heterogeneous dynamic big multimedia data**. International Conference on Multimedia. Nara: ACM. p. 1-10, 2012.

- SOMVANSHI, M.; CHAVAN, P.; TAMBADE, S.; SIHNDE, S. **A review of machine learning techniques using decision tree and support vector machine.** International Conference on Computing Communication Control and Automation. Pune: IEEE. p. 1-7, 2016.
- SPATH, D.; GANSCHAR, O.; GERLACH, S.; HAMMERLE, M.; KRAUSE, T. **Manufacturing work of the future - Industry 4.0.** 22nd International Conference on Production Research. Iguassu Falls: Conf Prod Research. p. 1-4, 2013.
- SPINDLER, M.; AICHER, T.; SCHUTZ, D.; VOGEL, B.; GUNTHNER, W. **Modularized control algorithm for automated material handling systems.** International Conference on Intelligent Transportation Systems. Chicago: IEEE. 2016.
- STEPHENS, M.; MEYERS, F. **Manufacturing facilities design & material handling.** Lafayette: Purdue University Press, 2013.
- STOCK, J.; LAMBERT, D. Becoming a "world class" company with logistics service quality. **International Journal of Logistics Management**, v. 3, n. 1, p. 73-81, 1992.
- STRANDHAGEN, J.; ALFNES, E.; STRANDHAGEN, J.; SWAHN, N. **Importance of production environments when applying Industry 4.0 to production logistics - a multiple case study.** International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation. Manchester: Atlantis Press. p. 241-247, 2016.
- 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**, p. 947-952, 2014.
- STRUPKA, G.; LEVCHENKOV, A.; GOROBETZ, M. **Automated situation analysis as next level of unmanned aerial vehicle artificial intelligence.** International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Los Angeles: Springer. p. 25-37, 2017.
- SUJONO, S.; LASHKARI, R. A multi-objective model of operation allocation and material handling system selection in FMS design. **International Journal of Production Economics**, v. 105, n. 1, p. 116-133, 2007.
- SUKTHANKAR, G.; GOLDMAN, R.; GEIB, C.; PYNADATH, D.; BUI, H. **Plan, Activity, and Intent Recognition.** Waltham: Elsevier, 2014.
- SWINGLER, K. **Applying Neural Networks - a practical guide.** San Francisco: Morgan Kaufman Publishers Inc., 2001.
- TAHA, A.; GATSI, N.; SUMMERS, T.; NUGROHO, S. **Time-varying sensor and actuator selection for uncertain cyber-physical systems.** American Control Conference. Seattle: ACC. p. 1-17, 2017.
- TALL, A.; COMBES, R.; ALTMAN, Z.; ALTMAN, E. Distributed coordination of self-organizing mechanisms in communication networks. **IEEE Transactions on Control of Networks Systems**, v. 1, n. 4, p. 328-337, 2014.
- THEODORIDIS, S.; KOUTROUMBAS, K. **Pattern Recognition.** San Diego: Academic Press, 2009.
- THOMSON, R.; LEBIERE, C.; BENNATI, S. **Human, model and machine: a complementary approach to big data.** Workshop of Human-Centered Big Data Research. Raleigh: HCBDR. p. 27-31, 2014.
- THRUN, S. Stanley: the robot that won the DARPA grand challenge. **Journal of Field Robotics**, p. 661-692, 2006.



- TIMM, I.; LORIG, F. **Logistics 4.0 - a challenge for simulation**. Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference. Huntington Beach: IEEE. p. 3118-3119, 2015.
- TOMPKINS, J.; WHITE, J.; BOZEN, Y.; TANCHOCO, J. **Facilities Planning**. USA: John Wiley & Sons, 2010.
- TÖRNGREN, M.; BENSALÉM, S.; CENGARLE, M.; CHEN, D.; MCDERMID, J.; PASSERONE, R.; SANGIOVANNI-VINVENTELLI, A.; RUNKLER, T. Deliverable 5.1. **Cyber-Physical European Roadmap & Strategy (CyPhERS)**, 2014. Disponível em: <[Http://www.cyphers.eu](http://www.cyphers.eu)>. Acesso em: 27 Dezembro 2015.
- TSOUKALAS, L.; UHRIG, R. **Fuzzy and neural approaches in engineering**. New York: John Wiley & Sons, 2007.
- TURAGA, P.; CHILLAPPA, R.; SUBRAHMANIAN, V.; UDREA, O. Machine recognition of human activities: a survey. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, v. 18, n. 11, p. 1473-1488, 2008.
- UELZE, R. **Logística Empresarial: uma introdução à administração de transportes**. São Paulo: Livraria Pioneira, 1974.
- VAN AKEN, J. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.
- VDMA. **Guideline Industrie 4.0 - guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized business**. Frankfurt: VDMA, 2016.
- VENABLE, J. The role of theory and theorising in design science research. **DESRIST**, v. 24/25, n. 1, p. 1-18, 2006.
- VEIRA, G.; PASA, G.; BORSA, M.; MILAN, G.; PANDOLFO, A. Materials handling management: a case study. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 4, n. 2, p. 19-30, 2011.
- VILAIN, M. **Getting serious about parsing plans: a grammatical analysis of plan recognition**. National Conference on Artificial Intelligence. Boston: AAAI Press. p. 190-197, 1990.
- VOSVIEWER. VOSviewer - visualizing scientific landscapes. **VOSviewer - Centre for Science and Technology Studies Leiden University**, 2018. Disponível em: <[www.vosviewer.com](http://www.vosviewer.com)>. Acesso em: 20 de Agosto de 2018.
- VYATKIN, V.; PANG, C.; TRIPAKIS, S. **Towards cyber-physical agnosticism by enhancing IEC 61499 with PTIDES model of computations**. International Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society. Yokohama: IEEE. p. 1-6, 2016.
- WAHLSTER, W. **SemProM: foundations of semantic product memories for the Internet of Things**. Berlin: Springer-Verlag, 2013.
- WAN, J.; CAI, H.; ZHOU, K. **Industrie 4.0: enabling technologies**. International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things. Harbin: IEEE. p. 135-140, 2015.
- WANG, L. **Research of Artificial Intelligent Plan Recognition**. IEEE Symposium on Electrical & Electronics Engineering. Kuala Lumpur: IEEE. p. 419-421, 2012.
- WANG, L.; TÖRNGREN, M.; ONORI, M. Current status and advancement of cyber-physical system in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, n. 2, p. 1-11, 2015.

- WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. Implementing smart factory of Industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2016, p. 1-10, 2016.
- WANG, Y.; WANG, G.; ANDERL, R. **Generic procedure model to introduce Industrie 4.0 in small and medium-sized enterprises**. World Congress on Engineering and Computer Science 2016. San Francisco: Cong Eng Computer Science. p. 1-6, 2016.
- WATSON, I.; MARIR, F. Case-based reasoning: a review. **The Knowledge Engineering Review**, v. 9, n. 4, p. 327-354, 1994.
- WATSON, V.; TELLABI, A.; SASSMANNSHAUSER, J.; LOU, X. Interoperability and security challenges of Industrie 4.0. **Informatik**, v. 275, n. 1, p. 973-985, 2017.
- WEHBERG, G. Logistik 4.0 - die sechs Säulen der Logistik in der Zukunft. In: GÖPFERT, I. **Logistik der Zukunft - Logistics for the Future**. Marburg: Springer Fachmedien Wiesbaden, p. 319-344, 2016.
- WICKRAMASINGHE, L.; AMARASIRI, R.; ALAHAKOON, L. A hybrid intelligent multiagent system for e-business. **Computational Intelligence**, v. 20, n. 4, p. 603-623, 2004.
- WILLIS, M.; DIMASSIMO, C.; MONTAGUE, G.; THAN, M.; MORRIS, A. Artificial neural networks in process engineering. **IEEE Proceedings-D**, v. 138, n. 3, p. 256-266, 1991.
- WINSTON, P. **Artificial Intelligence**. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- WITTEN, I.; FRANK, E.; HALL, M.; POL, C. **Data Mining: practical machine learning tools and techniques**. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2017.
- WOLF, W. Cyber-physical Systems. **IEEE Computer Society**, p. 88-89, 2009.
- WOLFGANG, E. **Introduction to Artificial Intelligence**. London: Springer-Verlag London, 2011.
- WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to Multiagent Systems**. London: John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- WU, Y. Effective lean logistics strategy for the auto industry. **The International Journal of Logistics Management**, v. 13, n. 2, p. 19-38, 2002.
- XIA, F.; MA, L.; DONG, J.; SUN, Y. **Network QoS management in cyber-physical systems**. International Conference on Embedded Software and Systems Symposia. Sichuan: IEEE. p. 302-307, 2008.
- XIA, F.; KONG, X.; XU, Z. Cyber-physical control over wireless sensor and actuator networks with packet loss. **Wireless Networks Based Control**, p. 85-102, 2011.
- XIE, J.; LIU, C. Multi-agent systems and their applications. **Journal of International Council on Electrical Engineering**, v. 7, n. 1, p. 188-197, 2017.
- XIN, S.; GUO, Q.; SUN, H.; WANG, J.; CHEN, C. **Cyber-Physical assessment and comparison between centralized and distributed control mode in coordinated substation voltage control**. Power and Energy Society General Meeting. Boston: Power and Energy Society. p. 1-5, 2016.
- XING, B.; GAO, W.; NELWAMONDO, F.; BATTLE, K.; MARWALA, T. **Storage and retrieval machine travel route planning strategy in an automated material handling environment**. World Automation Congress. Japan: IEEE. p. 1-8, 2010.

- XU, L.; XU, E.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.
- YAO, X. Evolving artificial neural networks. **Proceeding of the IEEE**, v. 87, n. 9, p. 1423-1447, 1999.
- YE, D.; ZHANG, M.; VASILAKOS, A. A survey of self-organization mechanisms in multiagent systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 47, n. 3, p. 441-461, 2017.
- YEGNANARAYANA, B. **Artificial Neural Networks**. New Delhi: Prentice-Hall, 2006.
- YOO, H.; SHON, T. Challenges and research directions for heterogeneous cyber-physical system based on IEC 61850: vulnerabilities, security requirements, and security architecture. **Future Generation Computer Systems**, v. 61, n. 1, p. 128-136, 2016.
- YOON, K.; HWANG, C. **Multiple attribute decision making - an introduction**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1995.
- YUE, S.; ZHA, Y.; YIN, Q.; QIN, L. **Multi-agent intention recognition using logical hidden semi-markov models**. International Conference on Simulation and Modeling Methodologies. Vienna: IEEE. p. 1-8, 2014.
- ZAMANLOOY, B.; MIRHASSANI, M. Efficient VLSI implementation of neural networks with hyperbolic tangent activation function. **IEEE Transactions on VLSI Systems**, v. 22, n. 1, p. 39-48, 2014.
- ZAREMBA, M. Intelligence in manufacturing systems: the pattern recognition perspective. **Control and Cybernetics**, v. 39, n. 1, p. 233-258, 2010.
- ZHANG, J.; QIN, W.; WU, L. A performance analytical model of automated material handling system for semiconductor wafer fabrication system. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 6, p. 1650-1669, 2016.
- ZHANG, N. Smart logistics path for cyber-physical systems with internet of things. **IEEE Access**, v. 6, n. 1, p. 70808-70819, 2018.
- ZHANG, Q.; MAN, D.; YANG, W. **Using HMM for intent recognition in cyber security situation awareness**. International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling. Wuhan: IEEE. p. 166-169, 2009.
- ZHANG, X.; ZHANG, Y.; LI, Y.; ZHANG, Z.; LONG, K. **Bio-inspired adaptive routing in self-organized networks: a survey**. International Conference on Communications and Networking. GGuilin: IEEE. p. 505-510, 2013.



# APÊNDICE

## Apêndice A – Roteiro de coleta de dados por equipamento de logística interna

### Roteiro do Equipamento A - Empilhadeira 1

#### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

##### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados
- Posicionados
- Unitizados
- Armazenados

##### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- Modelo de Domínio
- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software
  - Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- Sensores e atuadores
- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador
  - Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- Plataformas de Comunicação
- Sim - qual rede ?
 

|              |              |              |                    |
|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| PAN          | LAN          | WAN          | qual arquitetura ? |
| O Bluetooth  | X WiFi       | O 3G/4G/5G   | O IEC62443         |
| O Zigbee     | O Ethernet   | O Wimax      | O IEC62541         |
| O IEEE802.15 | O IEEE802.11 | O IEEE802.20 | X IEEE1722         |
|              | O IEEE802.3  | O IEEE802.16 |                    |
| Outra:       |              |              | Outra:             |
  - Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- Processadores Paralelos
- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?
    - O Sim
    - O Não
    - Outra: Segue padrão do fabricante
  - Não

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- Controladores Distribuídos
- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?
    - O Sim
    - O Não
    - Outra: Segue padrão do fabricante
  - Não

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |
|                             | <input type="checkbox"/>            |  |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 1, 2 e \_\_\_\_ .

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento B - Empilhadeira 2

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados
- Posicionados
- Unitizados
- Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

Modelo de Domínio

- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software
- Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

Sensores e atuadores

- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador
- Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

Plataformas de Comunicação

- Sim - qual rede ?
 

|  |                                     |  |                                     |  |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
|  | PAN                                 | LAN                                      | WAN                                 | qual arquitetura ?                           |
|  | <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input type="checkbox"/> IEC62443            |
|  | <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input type="checkbox"/> Ethernet        | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> IEC62541            |
|  | <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11      | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input checked="" type="checkbox"/> IEEE1722 |
|  |                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3       | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |  |
|  | Outra:                              |  |                                     | Outra:                                       |
- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

Processadores Paralelos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?
  - Sim
  - Não
  - Outra:  Segue o padrão do fabricante
- Não

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

Controladores Distribuídos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?
  - Sim
  - Não
  - Outra:  Segue o padrão do fabricante
- Não



## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |
|                             | <input type="checkbox"/>            |  |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 1, 2 e 4 .

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento C - Empilhadeira 3

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- |                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Transportados |
| <input type="checkbox"/>            | Posicionados  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Unitizados    |
| <input type="checkbox"/>            | Armazenados   |

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da arquitetura do hardware/software |
| <input type="checkbox"/>            | Não  |

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador |
| <input type="checkbox"/>            | Não   |

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- |                                     |                                     |  |                                     |  |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - qual rede ?                   | qual arquitetura ?                       |                                     |  |
|                                     | PAN                                 | LAN                                      | WAN                                 |  |
|                                     | <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input type="checkbox"/> IEC62443            |
|                                     | <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input type="checkbox"/> Ethernet        | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> IEC62541            |
|                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11      | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input checked="" type="checkbox"/> IEEE1722 |
|                                     |                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3       | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |  |
|                                     | Outra:                              |  |                                     | Outra:                                       |
| <input type="checkbox"/>            | Não                                 |  |                                     |  |

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131? |
|                                     | <input type="checkbox"/> Sim                                   |
|                                     | <input type="checkbox"/> Não                                   |
|                                     | Outra: <input type="checkbox"/> Segue o padrão do fabricante   |
| <input type="checkbox"/>            | Não  |

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499? |
|                                     | <input type="checkbox"/> Sim                                   |
|                                     | <input type="checkbox"/> Não                                   |
|                                     | Outra: <input type="checkbox"/> Segue o padrão do fabricante   |
| <input type="checkbox"/>            | Não  |

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |
|                             | <input type="checkbox"/>            |  |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a menos prioritária): 3, 1, 4 e 2.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input type="checkbox"/>            | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de Plano e Intenção **A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- Modelamento Humano
- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina **O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- Auto-Organização na Manufatura
- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- Redes Comunicação Auto-Organizáveis
- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

Roteiro do Equipamento D - AGV 1

**Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0**

Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados
- Posicionados
- Unitizados
- Armazenados

Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

Modelo de Domínio

- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software
- Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

Sensores e atuadores

- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador
- Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

Plataformas de Comunicação

- Sim - qual rede ? qual arquitetura ?
- |                                     |  |                                     |  |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| PAN                                 | LAN                                      | WAN                                 |  |
| <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input type="checkbox"/> IEC62443            |
| <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input type="checkbox"/> Ethernet        | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> IEC62541            |
| <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11      | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input checked="" type="checkbox"/> IEEE1722 |
|                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3       | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |  |
| Outra:                              |  |                                     | Outra:                                       |
- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

Processadores Paralelos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?
- Sim
- Não
- Outra: Segue padrão do fabricante
- Não

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

Controladores Distribuídos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?
- Sim
- Não
- Outra: Segue padrão do fabricante
- Não

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

- Fusão de Sensores
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
| <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
| <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Padrões
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Situações
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

- Avaliação Multi-Critérios
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |
- Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 1, 3, 2 e \_\_\_\_.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

- Inteligência Artificial
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |
- Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

- Sistemas Multi-Agente
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

- Interface Homem-Máquina
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:



## Roteiro do Equipamento E - AGV 2

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- Modelo de Domínio  
 Sim - presente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- Sensores e atuadores  
 Sim - presente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- Plataformas de Comunicação  
 Sim - qual rede ? qual arquitetura ?
- |  |              |              |              |            |
|--|--------------|--------------|--------------|------------|
|  | PAN          | LAN          | WAN          |            |
|  | O Bluetooth  | X WiFi       | O 3G/4G/5G   | O IEC62443 |
|  | O Zigbee     | O Ethernet   | O Wimax      | O IEC62541 |
|  | O IEEE802.15 | O IEEE802.11 | O IEEE802.20 | X IEEE1722 |
|  |              | O IEEE802.3  | O IEEE802.16 |            |
|  | Outra:       |              |              | Outra:     |
- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- Processadores Paralelos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não
- O Sim  
O Não  
Outra: Segue padrão do fabricante

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- Controladores Distribuídos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não
- O Sim  
O Não  
Outra: Segue padrão do fabricante

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 1, 2 e 4.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento F - AGV 3

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- Modelo de Domínio  
 Sim - presente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- Sensores e atuadores  
 Sim - presente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- Plataformas de Comunicação  
 Sim - qual rede ?  

| PAN                                 | LAN                                      | WAN                                 | qual arquitetura ?                           |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input type="checkbox"/> IEC62443            |
| <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input type="checkbox"/> Ethernet        | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> IEC62541            |
| <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11      | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input checked="" type="checkbox"/> IEEE1722 |
|                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3       | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |  |
| Outra:                              |  |                                     | Outra:                                       |

- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- Processadores Paralelos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não
- Sim  
 Não  
 Outra: Segue o padrão do fabricante

- Não

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- Controladores Distribuídos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não
- Sim  
 Não  
 Outra: Segue o padrão do fabricante

- Não

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

- Fusão de Sensores
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
| <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
| <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Padrões
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Situações
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

- Avaliação Multi-Critérios
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |
- Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a mino ritária): 3, 1, 4 e 2 .

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

- Inteligência Artificial
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/>            | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |
- Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

- Sistemas Multi-Agente
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

- Interface Homem-Máquina
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade de que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento G - AS/RS 1

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

Modelo de Domínio

- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

Sensores e atuadores

- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

Plataformas de Comunicação

- Sim - qual rede ?
- |  |              |              |              |                    |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------------|
|  | PAN          | LAN          | WAN          | qual arquitetura ? |
|  | O Bluetooth  | X WiFi       | O 3G/4G/5G   | O IEC62443         |
|  | O Zigbee     | X Ethernet   | O Wimax      | O IEC62541         |
|  | O IEEE802.15 | O IEEE802.11 | O IEEE802.20 | X IEEE1722         |
|  |              | O IEEE802.3  | O IEEE802.16 |                    |
|  | Outra:       |              |              | Outra:             |
- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

Processadores Paralelos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não
- O Sim  
O Não  
Outra: Segue padrão do fabricante

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

Controladores Distribuídos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não
- O Sim  
O Não  
Outra: Segue padrão do fabricante

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

- Fusão de Sensores
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
| <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
| <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Padrões
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Situações
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

- Avaliação Multi-Critérios
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |
- Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 1.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

- Inteligência Artificial
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |
- Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

- Sistemas Multi-Agente
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

- Interface Homem-Máquina
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |



Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento H - AS/RS 2

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

**O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:**

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

Modelo de Domínio

- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

Sensores e atuadores

- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

Plataformas de Comunicação

- Sim - qual rede ? qual arquitetura ?
- |                                     |  |                                     |                          |            |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|------------|
|                                     | PAN  | LAN                                 | WAN                      |            |
| <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi     | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input type="checkbox"/> | O IEC62443 |
| <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input checked="" type="checkbox"/> Ethernet | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> | O IEC62541 |
| <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11          | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input type="checkbox"/> | X IEEE1722 |
|                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3           | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |                          |            |
| <input type="checkbox"/> Outra:     |  |                                     |                          | Outra:     |
- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

Processadores Paralelos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não
- Sim  
 Não  
 Outra:  Segue padrão do fabricante

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

Controladores Distribuídos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não
- Sim  
 Não  
 Outra:  Segue padrão do fabricante

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 1, 4 e 2.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input type="checkbox"/>            | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento I - AS/RS 3

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

**O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:**

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

Modelo de Domínio

- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

Sensores e atuadores

- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

Plataformas de Comunicação

- Sim - qual rede ? qual arquitetura ?
- |                                     |  |                                     |  |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| PAN                                 | LAN  | WAN                                 |  |
| <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi     | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input checked="" type="checkbox"/> IEC62443 |
| <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input checked="" type="checkbox"/> Ethernet | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> IEC62541            |
| <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11          | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input checked="" type="checkbox"/> IEEE1722 |
|                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3           | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |  |
| Outra:                              |  |                                     | Outra:                                       |
- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

Processadores Paralelos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não
- Sim  
 Não  
 Outra:  Segue padrão do fabricante

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

Controladores Distribuídos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não
- Sim  
 Não  
 Outra:  Segue padrão do fabricante

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 1, 3, 2 e 4 .

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input type="checkbox"/>            | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento J - Transportador 1

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- Modelo de Domínio  
 Sim - presente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- Sensores e atuadores  
 Sim - presente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- Plataformas de Comunicação  
 Sim - qual rede ? qual arquitetura ?
- |  |              |              |              |            |
|--|--------------|--------------|--------------|------------|
|  | PAN          | LAN          | WAN          |            |
|  | O Bluetooth  | X WiFi       | O 3G/4G/5G   | O IEC62443 |
|  | O Zigbee     | X Ethernet   | O Wimax      | O IEC62541 |
|  | O IEEE802.15 | O IEEE802.11 | O IEEE802.20 | X IEEE1722 |
|  |              | O IEEE802.3  | O IEEE802.16 |            |
|  | Outra:       |              |              | Outra:     |
- Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- Processadores Paralelos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não
- O Sim  
O Não  
Outra: Segue padrão do fabricante

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- Controladores Distribuídos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não
- O Sim  
O Não  
Outra: Segue padrão do fabricante



## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |
|                             | <input type="checkbox"/>            |  |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 1, 2 e 4.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento K - Transportador 2

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

**O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:**

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- Modelo de Domínio  
 Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- Sensores e atuadores  
 Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- Plataformas de Comunicação  
 Sim - qual rede ?  

|  |                                     |  |                                     |  |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
|  | PAN                                 | LAN  | WAN                                 | qual arquitetura ?                           |
|  | <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi     | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input type="checkbox"/> IEC62443            |
|  | <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input checked="" type="checkbox"/> Ethernet | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input type="checkbox"/> IEC62541            |
|  | <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11          | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input checked="" type="checkbox"/> IEEE1722 |
|  |                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3           | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |  |
|  | Outra:                              |  |                                     | Outra:                                       |

 Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- Processadores Paralelos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não  

|                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> Sim |                            |
| <input type="checkbox"/> Não |                            |
| Outra:                       | Segue padrão do fabricante |

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- Controladores Distribuídos  
 Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não  

|                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> Sim |                            |
| <input type="checkbox"/> Não |                            |
| Outra:                       | Segue padrão do fabricante |

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 2, 4 e 1.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input type="checkbox"/>            | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento L - Transportador 3

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

**O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:**

- |                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Transportados |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Posicionados  |
| <input type="checkbox"/>            | Unitizados    |
| <input type="checkbox"/>            | Armazenados   |

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

Modelo de Domínio

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da arquitetura do hardware/software |
| <input type="checkbox"/>            | Não  |

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

Sensores e atuadores

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador |
| <input type="checkbox"/>            | Não   |

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

Plataformas de Comunicação

- |                                     |                   |                    |              |            |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - qual rede ? | qual arquitetura ? |              |            |
|                                     | PAN               | LAN                | WAN          | O IEC62443 |
|                                     | O Bluetooth       | X WiFi             | O 3G/4G/5G   | O IEC62541 |
|                                     | O Zigbee          | X Ethernet         | O Wimax      | X IEEE1722 |
|                                     | O IEEE802.15      | O IEEE802.11       | O IEEE802.20 |            |
|                                     |                   | O IEEE802.3        | O IEEE802.16 |            |
|                                     | Outra:            |                    |              | Outra:     |
| <input type="checkbox"/>            | Não               |                    |              |            |

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

Processadores Paralelos

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131? |
|                                     | O Sim  |
|                                     | O Não  |
|                                     | Outra: Segue o padrão do fabricante                            |
| <input type="checkbox"/>            | Não  |

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

Controladores Distribuídos

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499? |
|                                     | O Sim  |
|                                     | O Não  |
|                                     | Outra: Segue o padrão do fabricante                            |
| <input type="checkbox"/>            | Não  |

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Fusão de Sensores | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)                                    |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 identificar a posição do material  |
|                   | <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade)        |
|                   | <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento |

### O equipamento pode:

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Padrões | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

|                             |                                     |  |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| Reconhecimento de Situações | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
|                             | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
|                             | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

|                           |                                     |   |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Avaliação Multi-Critérios | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
|                           | <input type="checkbox"/>            | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
|                           | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |

Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 1, 4 e \_\_\_\_.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Inteligência Artificial | <input type="checkbox"/>            | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
|                         | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Redes neurais                                      |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

|                       |                                     |  |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Sistemas Multi-Agente | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
|                       | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
|                       | <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Interface Homem-Máquina | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
|                         | <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:



## Roteiro do Equipamento M - Robô 1

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

|                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/>            | Transportados |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Posicionados  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Unitizados    |
| <input type="checkbox"/>            | Armazenados   |

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

|                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Modelo de Domínio | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da arquitetura do hardware/software |
|                   | <input type="checkbox"/>            | Não  |

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

|                      |                                     |   |
|----------------------|-------------------------------------|---|
| Sensores e atuadores | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador |
|                      | <input type="checkbox"/>            | Não   |

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

|                            |                                     |                   |                    |              |            |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|------------|
| Plataformas de Comunicação | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - qual rede ? | qual arquitetura ? |              |            |
|                            |                                     | PAN               | LAN                | WAN          | X IEC62443 |
|                            |                                     | O Bluetooth       | X WiFi             | O 3G/4G/5G   | X IEC62541 |
|                            |                                     | O Zigbee          | X Ethernet         | O Wimax      | X IEEE1722 |
|                            |                                     | O IEEE802.15      | O IEEE802.11       | O IEEE802.20 |            |
|                            |                                     |                   | O IEEE802.3        | O IEEE802.16 |            |
|                            |                                     | Outra:            |                    |              | Outra:     |
|                            | <input type="checkbox"/>            | Não               |                    |              |            |

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Processadores Paralelos | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131? |
|                         |                                     | X Sim  |
|                         |                                     | O Não  |
|                         |                                     | Outra:   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | Não  |

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

|                            |                                     |  |
|----------------------------|-------------------------------------|--|
| Controladores Distribuídos | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499? |
|                            |                                     | X Sim  |
|                            |                                     | O Não  |
|                            |                                     | Outra:   |
|                            | <input type="checkbox"/>            | Não  |

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

- Fusão de Sensores
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 identificar a posição do material  |
| <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade) (quando disponível no barcode ou RFID) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento                                 |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Padrões
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Situações
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

- Avaliação Multi-Critérios
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |
- Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 1.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

- Inteligência Artificial
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Redes neurais                                      |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

- Sistemas Multi-Agente
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

- Interface Homem-Máquina
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de  
Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

Modelamento Humano

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

Auto-Organização na Manufatura

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais (posicionamentos alternativos)
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up (adequar a unitização à qualquer necessidade dos processos a justante)
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais (posicionamentos mais viáveis)
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados (Zigbee)
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados (WiFi, Ethernet, WiMax)
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento N - Robô 2

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- |                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/>            | Transportados |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Posicionados  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Unitizados    |
| <input type="checkbox"/>            | Armazenados   |

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

- |                   |                                     |  |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Modelo de Domínio | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da arquitetura do hardware/software |
|                   | <input type="checkbox"/>            | Não  |

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

- |                      |                                     |   |
|----------------------|-------------------------------------|---|
| Sensores e atuadores | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - presente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador |
|                      | <input type="checkbox"/>            | Não   |

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

- |                            |                                     |                   |                    |              |            |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|------------|
| Plataformas de Comunicação | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - qual rede ? | qual arquitetura ? |              |            |
|                            |                                     | PAN               | LAN                | WAN          | O IEC62443 |
|                            |                                     | O Bluetooth       | X WiFi             | O 3G/4G/5G   | O IEC62541 |
|                            |                                     | O Zigbee          | X Ethernet         | O Wimax      | X IEEE1722 |
|                            |                                     | O IEEE802.15      | O IEEE802.11       | O IEEE802.20 |            |
|                            |                                     |                   | O IEEE802.3        | O IEEE802.16 |            |
|                            |                                     | Outra:            |                    |              | Outra:     |
|                            | <input type="checkbox"/>            | Não               |                    |              |            |

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

- |                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Processadores Paralelos | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131? |
|                         |                                     | X Sim  |
|                         |                                     | O Não  |
|                         |                                     | Outra:   |
|                         | <input type="checkbox"/>            | Não  |

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

- |                            |                                     |  |
|----------------------------|-------------------------------------|--|
| Controladores Distribuídos | <input checked="" type="checkbox"/> | Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499? |
|                            |                                     | X Sim  |
|                            |                                     | O Não  |
|                            |                                     | Outra:   |
|                            | <input type="checkbox"/>            | Não  |

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

- Fusão de Sensores
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 identificar a posição do material  |
| <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade) (quando disponível no barcode ou RFID) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento                                 |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Padrões
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Situações
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

- Avaliação Multi-Critérios
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
| <input type="checkbox"/>            | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |
- Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 3, 1, 2 e \_\_\_.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

- Inteligência Artificial
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Redes neurais                                      |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

- Sistemas Multi-Agente
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

- Interface Homem-Máquina
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
| <input type="checkbox"/>            | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |

Reconhecimento de Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

Modelamento Humano

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

Auto-Organização na Manufatura

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais (posicionamentos alternativos)
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up (adequar a unitização à qualquer necessidade dos processos a justante)
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais (posicionamentos mais viáveis)
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados (Zigbee)
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados (WiFi, Ethernet, WiMax)
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra:

## Roteiro do Equipamento O - Robô 3

### Roteiro de coleta dos dados para avaliação do grau de aderência do equipamento de Logística Interna ao conceito de CPS para a Indústria 4.0

#### Funções Logísticas

O equipamento permite que os materiais / produtos sejam:

- Transportados  
 Posicionados  
 Unitizados  
 Armazenados

#### Tecnologias CPS Básicas

**A arquitetura do hardware e o algoritmo do software seguem uma estrutura hierarquizada que permite uma fácil adequação do equipamento à novas necessidades ou adição de outra funcionalidade logística?**

Modelo de Domínio

- Sim - apresente o esquemático da arquitetura do hardware/software  
 Não

**Os sensores e atuadores empregados no equipamento atendem os critérios de amostragem, linearidade e estabilidade para as grandezas/ações que foram determinados?**

Sensores e atuadores

- Sim - apresente o esquemático da ligação dos sensores/atuadores ao controlador  
 Não

**O equipamento possui uma plataforma de comunicação com protocolo aberto, de conexão ubíqua e que auto gerencia seus recursos?**

Plataformas de Comunicação

- Sim - qual rede ?  

|  |                                     |  |                                     |  |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
|  | PAN                                 | LAN  | WAN                                 | qual arquitetura ?                           |
|  | <input type="checkbox"/> Bluetooth  | <input checked="" type="checkbox"/> WiFi     | <input type="checkbox"/> 3G/4G/5G   | <input checked="" type="checkbox"/> IEC62443 |
|  | <input type="checkbox"/> Zigbee     | <input checked="" type="checkbox"/> Ethernet | <input type="checkbox"/> Wimax      | <input checked="" type="checkbox"/> IEC62541 |
|  | <input type="checkbox"/> IEEE802.15 | <input type="checkbox"/> IEEE802.11          | <input type="checkbox"/> IEEE802.20 | <input checked="" type="checkbox"/> IEEE1722 |
|  |                                     | <input type="checkbox"/> IEEE802.3           | <input type="checkbox"/> IEEE802.16 |  |
|  | Outra:                              |  |                                     | Outra:                                       |

 Não

**O controlador do equipamento opera (ou pode operar em uma expansão) com multi-núcleos de processamento de informação para executar operações em tempo real?**

Processadores Paralelos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61131?  
 Não
- X Sim  
 Não  
 Outra:

**O controlador do equipamento executa o processamento das informações em tempo real, independentemente da arquitetura do sistema/processo que está inserido? Isto é, seu modelo computacional é agnóstico.**

Controladores Distribuídos

- Sim - o algoritmo de controle é estruturado conforme IEC61499?  
 Não
- X Sim  
 Não  
 Outra:

## Tecnologias CPS

### Os sensores do equipamento permitem:

- Fusão de Sensores
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 verificar a presença dos materiais   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 medir uma grandeza logística dos materiais (ex: dimensão ou peso)  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 identificar a posição do material  |
| <input type="checkbox"/>            | 4 obter informações sobre o material relevante à logística (ex: temperatura, validade, umidade) (quando disponível no barcode ou RFID) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 5 determinar possíveis falhas do próprio equipamento e interferências do ambiente em seu funcionamento                                 |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Padrões
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer os materiais  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Reconhecer a condição física dos materiais   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Reconhecer o comportamento da atividade (ex: sazonalidade, aumento, redução, tendências)                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Reconhecer o funcionamento do equipamento, incluindo o comportamento de seus sub-sistemas e necessidades de manutenção |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Reconhecer o comportamento e as necessidades do processo logístico que se insere                                       |

### O equipamento pode:

- Reconhecimento de Situações
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Reconhecer o funcionamento do equipamento na atividade que se destaca  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar o funcionamento do processo que executa em conjunto com outros equipamentos  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Identificar oportunidades de otimização de suas atividades antecipadamente à execução da sua operação no processo em que se insere |

### No equipamento, quais objetivos são levados em consideração nas decisões e em qual hierarquia?

- Avaliação Multi-Critérios
- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Entrega: avaliação e adequação do sistema para atender o prazo                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Serviço: avaliação e adequação do sistema para aumentar a eficiência                |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Qualidade: avaliação e adequação do sistema para atender a acurácia, evitando erros |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Custo: avaliação e adequação do sistema para minimizar o custo da operação          |
- Estabeleça a ordem de hierarquia das decisões pelos critérios anteriores (da prioritária a minoritária): 1, 3, 2 e 4.

### Qual (quais) é (são) a(s) técnica(s) de inteligência artificial utilizadas pelo controlador do equipamento para analisar as situações e executar a tomada de decisões?

- Inteligência Artificial
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Sistemas baseados em regras (ruled-based systems)  |
| <input type="checkbox"/>            | 2 Raciocínio baseado em casos (case-based reasoning) |
| <input type="checkbox"/>            | 3 Algoritmos genéticos                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 Redes neurais                                      |
| <input type="checkbox"/>            | 5 Inteligência de enxame                             |

Outra:

### Quando integrado ao processo logístico, o equipamento pode:

- Sistemas Multi-Agente
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 Identificar alterações no ambiente/processo e se adequar para continuar cumprindo suas atividades e objetivos  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e se adequar para satisfazê-las como parte de suas atividades, quando não houver conflito com seus objetivos   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 Identificar novas necessidades no ambiente/processo e negociar/ cooperar com outros controles para satisfazê-las, adequando suas atividades, mesmo que em detrimento de seu objetivo local para atingir um objetivo global |

### A interface de comunicação entre o equipamento e o operador/manutentor permite:

- Interface Homem-Máquina
- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 A troca de informação direta entre o sistema e o usuário   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 A identificação da atividade que o usuário executa, auxiliando em sua operação com informações direcionadas  |
| <input type="checkbox"/>            | 3 O reconhecimento das habilidades sociais e das competências técnicas do usuário para, independentemente de seu nível social ou técnico, assegurar uma comunicação assertiva e eficaz |



Reconhecimento de Plano e Intenção

**A interface de comunicação do equipamento com o operador/manutentor pode reconhecer o plano de atividade ou a intenção das ações executadas, desses ou de outros equipamentos:**

- 1 Quando essas informações são explicitamente compartilhadas
- 2 Mesmo que não exista o compartilhamento explícito dessas informações
- 3 Mesmo que as informações compartilhadas sejam divergentes do plano/intenção observado

**As decisões sobre os processos ou problemas logísticos que envolvem o equipamento são:**

Modelamento Humano

- 1 Realizadas pelo usuário; o equipamento não oferece assistência
- 2 Oferecidas pelo equipamento em um grupo completo de alternativas e o usuário seleciona entre elas
- 3 Oferecidas pelo equipamento em um conjunto reduzido de alternativas, referentes ao contexto, e o usuário seleciona entre elas
- 4 Sugeridas pelo equipamento ao usuário, que aprova, ou não, sua execução
- 5 Requeridas automaticamente pelo equipamento a aprovação do usuário antes de sua execução
- 6 Avaliadas automaticamente pelo equipamento, porém o usuário tem um tempo limitado para impedir sua execução, se desejar
- 7 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e necessariamente informadas ao usuário
- 8 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se solicitadas, são informadas ao usuário
- 9 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento e, se o equipamento decidir por isso, são informadas ao usuário
- 10 Avaliadas e executadas automaticamente pelo equipamento, ignorando o usuário

Aprendizado da Máquina

**O equipamento tem a capacidade de melhorar automaticamente o desempenho da atividade logística que executa, desde que:**

- 1 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e suas respectivas soluções otimizadas
- 2 Sejam fornecidas as possíveis combinações da atividade e permitido que o equipamento determine as melhores soluções (aceitando uma baixa eficiência ao longo da busca pela otimização)
- 3 O equipamento possa partir de um desempenho mínimo, fornecido por um indicador de desempenho da atividade, para alcançar uma solução ótima (aceitando uma eficiência razoável ao longo da busca pela otimização)

**O equipamento, em caso de necessidade de sua atividade/processo logístico, pode autonomamente:**

Auto-Organização na Manufatura

- 1 Movimentar diferentes materiais sem troca de ferramentas set-up
- 2 Determinar rotas alternativas para o fluxo de materiais (posicionamentos alternativos)
- 3 Utilizar outros elementos do próprio equipamento para assegurar sua atividade
- 4 Ser uma opção de função logística para outros equipamentos, sem grandes alterações ou set-up (adequar a unitização à qualquer necessidade dos processos a justante)
- 5 Permitir que novos materiais sejam incorporados ao processo logístico sem grandes alterações em seus sistemas
- 6 Encontrar novas rotas mais viáveis para o fluxo de materiais (posicionamentos mais viáveis)
- 7 Absorver os picos e vales da demanda otimizando sua operação, porém dentro de sua capacidade de operação
- 8 Ampliar sua capacidade de operação sem grandes alterações de sistemas ou dispositivos
- 9 Encontrar soluções por meio de análises virtuais, sem interromper a operação
- 10 Permitir que novas atividades/funções logísticas sejam incorporadas ao seu processo sem grandes investimentos

**A rede de comunicação do equipamento opera pela arquitetura:**

Redes Comunicação Auto-Organizáveis

- 1 Redes globais: roteamento fixo e controlador central
- 2 Redes de área local: roteamento fixo e controladores descentralizados (Zigbee)
- 3 Redes de nós vizinhos: roteamento adaptável e controladores descentralizados (WiFi, Ethernet, WiMax)
- 4 Redes por algoritmos probabilísticos: roteamento adaptável e controladores descentralizados que melhoram seu desempenho automaticamente
- 5 Redes bio-inspiradas: roteamento adaptável e controladores descentralizados em nós que operam em enxame, aprendendo e evoluindo com as alterações do ambiente

Outra: