



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO – TRINDADE – CAIXA POSTAL 476  
CEP. 88040-900 – FLORIANÓPOLIS – SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

THIAGO CARRANO DE ALBUQUERQUE BERNARDES

**PROPOSTA DE UM MODELO DE INSERÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA QUARTA  
REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NAS MANUFATURAS A PARTIR DA ANÁLISE DE  
VALOR E DAS ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE**

Florianópolis

2022



THIAGO CARRANO DE ALBUQUERQUE BERNARDES

**PROPOSTA DE UM MODELO DE INSERÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA QUARTA  
REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NAS MANUFATURAS A PARTIR DA ANÁLISE DE  
VALOR E DAS ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação da  
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção  
do título de doutor em Engenharia de Produção.  
Orientador: Prof. Osmar Possamai, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bernardes, Thiago Carrano de Albuquerque

Proposta de um modelo de inserção das tecnologias da quarta revolução industrial nas manufaturas a partir da análise de valor e das estratégias de competitividade / Thiago Carrano de Albuquerque Bernardes; orientador, Osmar Possamai, 2022.  
201 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Indústria 4.0. 3. Manufatura avançada. 4. Valor agregado. I. Possamai, Osmar. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

THIAGO CARRANO DE ALBUQUERQUE BERNARDES

**PROPOSTA DE UM MODELO DE INSERÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA QUARTA  
REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NAS MANUFATURAS A PARTIR DA ANÁLISE DE  
VALOR E DAS ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Osmar Possamai, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

---

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.  
Coordenador do Curso

---

Prof. Osmar Possamai, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2022.



Dedico este trabalho, em sua plenitude, a todos aqueles que buscam através do conhecimento, agregar Valor a este país, chamado Brasil.





## AGRADECIMENTOS

Ao Eterno por conceder ao seu filho saúde, sabedoria e força para vivenciar esse momento.

Ao professor Dr. Osmar Possamai, pelos seus ensinamentos, tanto dentro quanto fora da sala de aula, foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para a formação ética e profissional do aluno.

Aos professores Dr. Fernando Antônio Forcellini e Dr. Enzo Morosini Frazzon pelas contribuições durante o exame de qualificação deste trabalho.

Ao professor Dr. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira pela gentileza e a disponibilidade de participação na banca de defesa da tese.

Ao amigo Matheus Humberto Ceballos pelo incentivo e por abrir as portas que possibilitaram a validação do modelo deste trabalho.

A minha família pelo apoio incondicional durante esses anos e mesmo algumas vezes com dificuldade, puderam me conceder certos “privilégios” como: saúde, educação e moradia, negados muitas vezes de maneira “vil” a grande parte do povo brasileiro. “Privilégios” esses responsáveis talvez pela principal condição *sine qua non* de desenvolvimento deste trabalho.

Ao próprio povo brasileiro, os reais financiadores das pesquisas, dos centros de ensino, universidades e de todo o serviço público Federal, Estadual ou Municipal, seja ele relacionado com educação ou não, o qual tem “pouquíssimo” retorno sobre esses serviços, mas paga um preço “esdrúxulo” pela ineficiência, incompetência, ganância e “patifaria” dessa cultura “quilingue” enraizada no país e na mente dessa “escumalha pública”, que aí está se prostituindo e prejudicando os seus semelhantes por motivos “escusos” a um valor menor que 30 moedas de prata. Tudo isso, graças a um sistema “perverso” de vendas das *commodities* nacionais para o capital estrangeiro a preços “irrisórios” e aos impostos “escorchantes” sobre o consumo deste povo “desvalido”. Sistema esse, que um dia, pode não ter mais a capacidade de pagar esta conta.

Espero que, de alguma forma, este trabalho e seus frutos possam a corroborar com o desenvolvimento tecnológico e industrial nacional e nos livre das “amarras” do assistencialismo barato desses “sevandijas” amantes “promíscuos” desta cultura “involutiva”, “arcaica” e de prejuízos “pantagruélicos” a essa nação.



## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| LISTA DE FIGURAS .....  | 14 |
| LISTA DE TABELAS .....  | 18 |
| LISTA DE SIGLAS .....   | 22 |
| RESUMO .....  | 24 |
| <i>ABSTRACT</i> .....   | 26 |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....   | 28 |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA .....                          | 28 |
| 1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....  | 30 |
| 1.3. INEDITISMO DO TRABALHO .....   | 31 |
| 1.4. CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA E PRÁTICA .....   | 32 |
| 1.5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....   | 33 |
| 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....  | 34 |
| CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....  | 35 |
| 2.1. INDÚSTRIA 4.0/MANUFATURA AVANÇADA (I4.0/MA).....                                       | 35 |
| 2.2. ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE NA MANUFATURA .....                                     | 45 |
| 2.2.1. Estratégia da Qualidade .....  | 48 |
| 2.2.2. Estratégia da Velocidade .....   | 49 |
| 2.2.3. Estratégia da Pontualidade .....   | 50 |
| 2.2.4. Estratégia da Flexibilidade .....  | 51 |
| 2.2.5. Estratégia do Custo.....   | 52 |
| 2.3. ANÁLISE DE VALOR (AV) .....  | 55 |
| 2.3.1. Distinção da Análise de Valor em relação a outros métodos de Avaliação de Valor .... | 59 |
| 2.3.2. Identificação de uma Função .....  | 60 |
| 2.3.2.1. Diagrama <i>FAST</i> .....   | 61 |
| 2.3.2.2. Estrutura Analítica de Funções/Agrupamento <i>FAST</i> .....                       | 64 |
| 2.3.3. Classificação de uma Função .....  | 66 |
| 2.3.4. Mensuração do Desempenho de uma Função .....   | 68 |
| 2.3.4.1. Avaliação Numérica Funcional/Diagrama de Mudge .....                               | 69 |
| 2.3.5. Matriz de Custo por Funções.....   | 71 |
| 2.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....   | 73 |
| CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....  | 77 |
| 3.1. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO .....   | 77 |
| 3.2. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA AV COM INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO.....                     | 78 |
| 3.3. ESTRUTURA METODOLOGICA DO TRABALHO.....  | 79 |
| 3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....   | 86 |

|   |     |
|---|-----|
| CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO DO MODELO .....  | 88  |
| 4.1. 1ºFASE - IDENTIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES QUE COMPÕE AS TECNOLOGIAS DE ESTRUTURAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 .....  | 88  |
| 4.1.1. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Máquinas Colaborativas.....  | 88  |
| 4.1.2. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Conexão à Rede .....   | 89  |
| 4.1.3. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Sensores .....   | 91  |
| 4.1.4. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Servidores.....  | 92  |
| 4.1.5. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de detecção de dados, fraudes ou invasões .....   | 93  |
| 4.1.6. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Dispositivos Móveis.....   | 94  |
| 4.1.7. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Interface Homem-máquina.....   | 96  |
| 4.1.8. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Detecção de Objetos.....   | 97  |
| 4.1.9. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Análise de Dados.....  | 98  |
| 4.1.10. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Simulação .....   | 99  |
| 4.1.11. Diagrama <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Comunicação e Informação.....   | 100 |
| 4.2 2ºFASE – IDENTIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES NOTÓRIAS PARA AS EMPRESAS DE MANUFATURA .....  | 101 |
| 4.2.1. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Máquinas Colaborativas .....  | 101 |
| 4.2.2. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Conexão à Rede .....  | 102 |
| 4.2.3. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Sensores .....  | 104 |
| 4.2.4. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Servidores .....  | 104 |
| 4.2.5. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de detecção de dados, fraudes ou invasões .....  | 105 |
| 4.2.6. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Hardwares</i> de Dispositivos Móveis .....   | 106 |
| 4.2.7. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Interface Homem-máquina .....   | 107 |
| 4.2.8. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Detecção de Objetos.....  | 108 |
| 4.2.9. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Análise de Dados .....  | 109 |
| 4.2.10. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Simulação.....   | 110 |
| 4.2.11. Agrupamento <i>FAST</i> para <i>Softwares</i> de Comunicação e Informação .....   | 111 |
| 4.3 3ºFASE – CLASSIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES NOTÓRIAS PARA AS EMPRESAS DE MANUFATURA .....  | 112 |
| 4.4 4ª FASE - MENSURAÇÃO DO DESEMPENHO DAS FUNÇÕES NOTÓRIAS E DAS TECNOLOGIAS DE ESTRUTURAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 SOB A ÓTICA DAS ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE ..... | 114 |
| 4.4.1. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Qualidade.....   | 114 |
| 4.4.2. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Velocidade .....   | 117 |
| 4.4.3. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Pontualidade.....  | 118 |
| 4.4.4. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Flexibilidade .....  | 121 |
| 4.4.5. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade do Custo.....   | 124 |
| 4.5 5ª FASE - ESTRUTURAÇÃO DAS COLETÂNEAS TECNOLÓGICAS BASE ORIENTADAS POR ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE .....  | 127 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.5.1. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade .....   | 131 |
| 4.5.2. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade.....   | 131 |
| 4.5.3. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade.....   | 132 |
| 4.5.4. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade.....  | 133 |
| 4.5.5. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo .....   | 134 |
| 4.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....   | 135 |
| CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DO MODELO .....  | 138 |
| 5.1. 1ª FASE - ANÁLISE FUNCIONAL DO MODELO.....   | 138 |
| 5.1.1. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade.....                                 | 138 |
| 5.1.2. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade .....                               | 142 |
| 5.1.3. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade .....                             | 145 |
| 5.1.4. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade .....                            | 148 |
| 5.1.5. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo.....                                     | 152 |
| 5.2. 2ª FASE - ANÁLISE DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS DO MODELO.....  | 156 |
| 5.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....   | 158 |
| CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO DO MODELO.....   | 160 |
| 6.1. APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA DE ESCOLHA DA EMPRESA, SETOR E DO PROCESSO.....   | 160 |
| 6.2. 1ºFASE – AVALIAÇÃO DO VALOR ECONÔMICO AGREGADO POR FUNÇÃO DO PROCESSO NAS ETAPAS DE PRÉ-DIGITALIZAÇÃO E PÓS-DIGITALIZAÇÃO ORIENTADA A CADA ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE ..... | 161 |
| 6.2.1. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pré-Digitalização .  | 164 |
| 6.2.2. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade.....                                    | 167 |
| 6.2.3 Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade .....                                   | 170 |
| 6.2.4. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade .....                                | 172 |
| 6.2.5. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade .....                               | 175 |
| 6.2.6. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo.....  | 177 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.3. 2ºFASE - AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA DIGITALIZAÇÃO DO PROCESSO NAS ETAPAS DE PRÉ-DIGITALIZAÇÃO E PÓS-DIGITALIZAÇÃO ORIENTADA À CADA ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE ..... | 180 |
| 6.4. 3ºFASE - AVALIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE DO PROCESSO NAS ETAPAS DE PRÉ-DIGITALIZAÇÃO E PÓS-DIGITALIZAÇÃO ORIENTADA À CADA ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE .....             | 185 |
| 6.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....   | 189 |
| CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO .....  | 190 |
| 7.1. CONCLUSÕES .....   | 190 |
| 7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....  | 192 |
| REFERÊNCIAS .....   | 194 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1- Composição de um Sistema Físico-Cibernético .....   | 35  |
| Figura 2 - Estágios das Revoluções Industriais .....  | 36  |
| Figura 3 - <i>Toolbox Industrie 4.0</i> para Manufatura .....   | 39  |
| Figura 4 - <i>Toolbox Industrie 4.0</i> para Produto .....  | 40  |
| Figura 5 - Tecnologias para Estruturação de uma I4.0.....   | 42  |
| Figura 6 - As Cinco Estratégias de Competitividade na Manufatura e seus Aspectos Internos e Externos.....                         | 47  |
| Figura 7 - As Estratégias de Competitividade Apoiam o Desempenho do Custo.....  | 53  |
| Figura 8 – “Modelo do Cone de Areia”.....   | 54  |
| Figura 9 - Diferenças entre Análise de Valor e Demais Métodos de Avaliação de Valor .....   | 60  |
| Figura 10 - Regras para Estabelecimento da Lógica entre as Funções no Diagrama <i>FAST</i> .....                                  | 62  |
| Figura 11 - Exemplo de Aplicação do Diagrama <i>FAST</i> .....  | 63  |
| Figura 12 - Exemplo de Aplicação do Agrupamento <i>FAST</i> .....   | 65  |
| Figura 13 - Exemplo de Diagrama de Mudge .....  | 70  |
| Figura 14 - Procedimentos de Desenvolvimento, Análise e Aplicação do Modelo Proposto e os Resultados Esperados de cada Fase ..... | 80  |
| Figura 15 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardware</i> s de Máquinas Colaborativas.....                           | 89  |
| Figura 16 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardware</i> s de Conexão à Rede.....                                   | 90  |
| Figura 17 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardware</i> s de Sensores.....   | 91  |
| Figura 18 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardware</i> s de Servidores.....                                       | 92  |
| Figura 19 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares de detecção de dados, fraudes ou invasões</i> .....           | 93  |
| Figura 20 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardware</i> s de Dispositivos Móveis.....                              | 95  |
| Figura 21 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Interface Homem-máquina .....                          | 96  |
| Figura 22 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Detecção de Objetos.....                               | 97  |
| Figura 23 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Análise de Dados.....                                  | 98  |
| Figura 24 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Simulação .....  | 99  |
| Figura 25 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Comunicação e Informação .....                         | 100 |
| Figura 26 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardware</i> s de Máquinas Colaborativas.....                        | 102 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 27 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação dos <i>Hardwares</i> de Conexão à Rede....   | 103 |
| Figura 28 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardwares</i> de Sensores .....  | 104 |
| Figura 29 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardwares</i> de Servidores .....  | 105 |
| Figura 30 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de detecção de dados, fraudes ou invasões.....   | 106 |
| Figura 31- Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Hardwares</i> de Dispositivos Móveis  | 107 |
| Figura 32 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Interface Homem-máquina .....   | 108 |
| Figura 33 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Detecção de Objetos.  | 109 |
| Figura 34 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Análise de Dados.....   | 110 |
| Figura 35 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Simulação .....   | 111 |
| Figura 36 - Agrupamento <i>FAST</i> para Representação de <i>Softwares</i> de Comunicação e Informação.....   | 112 |
| Figura 37 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Qualidade .....   | 115 |
| Figura 38 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Velocidade .....  | 118 |
| Figura 39 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Pontualidade.....   | 119 |
| Figura 40 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Flexibilidade.....  | 122 |
| Figura 41 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade do Custo .....   | 125 |
| Figura 42 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação da Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade.....      | 139 |
| Figura 43 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação da Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade .....    | 143 |
| Figura 44 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação da Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade .....  | 146 |
| Figura 45 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação da Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade ..... | 149 |
| Figura 46 - Diagrama <i>FAST</i> para Representação da Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo.....          | 153 |
| Figura 47 – “Modelo do Cone de Areia Invertido” .....   | 157 |
| Figura 48 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização .....  | 164 |
| Figura 49 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização .....                                   | 165 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 50 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade .....                | 168 |
| Figura 51 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade .....     | 168 |
| Figura 52 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade.....                | 170 |
| Figura 53 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade.....     | 171 |
| Figura 54 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade.....              | 173 |
| Figura 55 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade .....  | 173 |
| Figura 56 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade.....             | 175 |
| Figura 57 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade ..... | 176 |
| Figura 58 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo .....                    | 178 |
| Figura 59 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo .             | 178 |
| Figura 60 - Avaliação da Maturidade do Processo nas Etapas de Pré-Digitalização e Pós-Digitalização com <i>Toolbox Industrie 4.0</i> para Manufatura.....                                  | 181 |
| Figura 61 - Avaliação da Maturidade do Processo nas Etapas de Pré-Digitalização e Pós-Digitalização com <i>Toolbox Industrie 4.0</i> para Produto.....                                     | 182 |



## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Exemplo de Matriz de Custos por Função .....   | 71  |
| Tabela 2 - Exemplo de Avaliação Numérica do Valor Econômico Agregado as Funções de um Produto .....                                 | 73  |
| Tabela 3 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a ótica da Estratégia da Qualidade .....          | 116 |
| Tabela 4 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica da Estratégia da Qualidade .....  | 117 |
| Tabela 5 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia da Velocidade .....         | 117 |
| Tabela 6 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica Estratégia da Velocidade .....  | 118 |
| Tabela 7 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia da Pontualidade.....        | 120 |
| Tabela 8 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica da Estratégia da Pontualidade.....  | 121 |
| Tabela 9 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia da Flexibilidade .....      | 123 |
| Tabela 10 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica Estratégia da Flexibilidade .....  | 124 |
| Tabela 11 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia do Custo .....             | 126 |
| Tabela 12 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica da Estratégia do Custo .....   | 127 |
| Tabela 13 - Definição da Composição Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade .....    | 131 |
| Tabela 14 - Definição da Composição Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade.....    | 132 |
| Tabela 15 - Definição da Composição Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade.....  | 133 |
| Tabela 16 - Definição da Composição Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade..... | 134 |
| Tabela 17 - Definição da Composição Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo .....        | 135 |
| Tabela 18 – Detalhamento dos Custos de Mão de Obra por Funcionário na empresa XYZ..   | 162 |
| Tabela 19 – Detalhamento dos Custos de Energia Elétrica na empresa XYZ .....  | 163 |
| Tabela 20 – Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização .....   | 166 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 21 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização .....   | 167 |
| Tabela 22 - Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade .....                              | 169 |
| Tabela 23 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade.....     | 169 |
| Tabela 24 – Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade .....                             | 171 |
| Tabela 25 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade.....    | 172 |
| Tabela 26 - Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade .....                           | 174 |
| Tabela 27 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade ..... | 174 |
| Tabela 28 – Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade .....                          | 176 |
| Tabela 29 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade..... | 177 |
| Tabela 30 - Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo .                                      | 179 |
| Tabela 31 - Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo .....        | 179 |
| Tabela 32 – Evolução dos Indicadores para cada Estratégia Competitiva no Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP durante as Incorporações Tecnológicas Semanais.....                                   | 186 |

## LISTA DE QUADROS

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 1 - Exemplos de Verbos, Substantivos e Unidades de Medida para Funções de Uso e Estima.....   | 67  |
| Quadro 2 - Avaliação do Valor Econômico das Funções.....   | 72  |
| Quadro 3 - Classificação das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura.....  | 113 |
| Quadro 4 - Funções e Tecnologias Fundamentais e Auxiliares para os Princípios de Concepção da I4.0 .....   | 129 |
| Quadro 5 – Classificação e a Posição no Diagrama de <i>FAST</i> das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade.....     | 140 |
| Quadro 6 - Classificação e a Posição no Diagrama de <i>FAST</i> das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade.....    | 144 |
| Quadro 7 - Classificação e a Posição no Diagrama de <i>FAST</i> das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade ..... | 147 |
| Quadro 8 - Classificação e a Posição no Diagrama de <i>FAST</i> das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade..... | 150 |
| Quadro 9 - Classificação e a Posição no Diagrama de <i>FAST</i> das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do <i>CPPS</i> Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo .....        | 154 |



## LISTA DE SIGLAS

AV – Análise de Valor

CLP – Controlador Lógico Programável

CM – Customização em Massa

*CPS – Cyber-Physical System*

*CPPS – Cyber-Physical Production System*

*FAST – Fuction Analysis Technique*

GI – Grau de Importância

GS – Grau de Satisfação

I4.0 – Indústria 4.0

IA – Inteligência Artificial

*IoS – Internet of Service*

*IoT – Internet of Things*

*M2M – Machine-to-Machine*

MA – Manufatura Avançada

MP – Matéria-Prima

NF – Nota Fiscal

*SAVE – Society of American Value Engineering*

TI – Tecnologia da Informação

VE – Valor Econômico





## RESUMO

A Quarta Revolução Industrial vem se desenvolvendo nos últimos anos alicerçada no uso da conexão via rede digital e programas computacionais para controlar dispositivos eletrônicos destinados a manufatura. Através desses *hardwares* e *softwares* é possível elaborar sistemas produtivos com maior capacidade de autogestão e um maior nível de customização dos produtos, sem perder as vantagens econômicas da produção. Desta forma os investimentos realizados nessas tecnologias, devem estabelecer a vantagem competitiva necessária para a empresa manter ou expandir sua fatia de mercado frente aos concorrentes, caso contrário, não há justificativa aparente nessas aquisições, mesmo levando em conta os benefícios apresentados. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor um modelo de inserção das tecnologias da Quarta Revolução Industrial alinhadas com a manufatura e as estratégias de competitividade da empresa, a fim criar uma ferramenta de apoio à composição tecnológica de um Sistema Físico-Cibernético de Produção. Para a isto, recorreu-se a análise do Valor agregado destes dispositivos, de modo a identificar suas serventias ou propósitos úteis. A primeira fase do modelo é caracterizada pelo reconhecimento das funções que compõem as tecnologias de estruturação de uma Indústria 4.0. Na sequência, procedeu-se a identificação do grau de importância das funções, a mensuração do desempenho destas funções e a estruturação das coletâneas tecnológicas para cada estratégia de competitividade. Uma aplicação do modelo foi realizada no setor de estoque de matérias-primas de uma indústria têxtil e os resultados finais demonstraram que adição ordenada dos *softwares* de comunicação e informação, detecção e localização de objetos, simulação e detecção de dados, fraudes ou invasões ao Sistema Físico-Cibernético de Produção, proporcionaram vantagens competitivas em de velocidade, pontualidade, flexibilidade e custos.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Manufatura avançada. Valor agregado.



## **ABSTRACT**

*The Fourth Industrial Revolution has been developing in recent years based on the use of digital network connection and computer programs to control electronic devices intended for manufacturing. Through these hardware and software, it is possible to develop production systems with greater capacity for self-management and a greater level of product customization, without losing the economic advantages of production. In this way, investments made in these technologies must establish the necessary competitive advantage for the company to maintain or expand its market share against competitors, otherwise, there is no apparent justification for these acquisitions, even taking into account the benefits presented. In this context, the present research aims to propose a model of insertion of the technologies of the Fourth Industrial Revolution aligned with the manufacturing and the company's competitiveness strategies, in order to create a tool to support the technological composition of a Cyber-Physical Production System. For this, the analysis of the added value of these devices was used, in order to identify their usefulness or useful purposes. The first phase of the model is characterized by the recognition of the functions that make up the structuring technologies of an Industry 4.0. Subsequently, the degree of importance of the functions was identified, the performance of these functions was measured and the technological collections were structured for each competitiveness strategy. An application of the model was carried out in the raw material stock sector of a textile industry and the final results showed that the orderly addition of communication and information software, detection and location of objects, simulation and detection of data, fraud or intrusions to the Cyber-Physical Production System, provided competitive advantages in speed, confiability, flexibility and costs.*

**Keywords:** *Industry 4.0. Advanced manufacturing. Added value*



## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo inicia com a contextualização do problema de pesquisa dentro da situação atual do desenvolvimento tecnológico industrial mundial. Logo, na sequência é apresentado o ineditismo da pesquisa e são salientadas as contribuições esperadas, bem como, as limitações que o trabalho apresenta.

### 1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A evolução tecnológica tem levado a transformações nos processos de manufatura e a prova desta afirmação é a existência na história mundial de três momentos conhecidos como Revoluções Industriais, os quais alteraram profundamente os alicerces da sociedade nos Séculos XVIII, XIX e XX (LASI *et al.*, 2014).

A Primeira Revolução Industrial em 1780 foi impulsionada pela concepção dos teares mecânicos movidos por motores a vapor e culminou na centralização dos processos de produção em unidades fabris (DEANE, 1979; DRATH; HORCH, 2014; SCHWAB, 2017). Já a Segunda Revolução ocorreu cerca de 100 anos depois em 1870, e tem como marco a criação das linhas de produção e a fabricação do primeiro automóvel produzido em série, o Ford Modelo T (DRATH; HORCH, 2014; SCHWAB, 2017). No final da década de 1960 e início da década de 1970 ocorre a Terceira Revolução Industrial, sendo esta marcada pela apresentação do primeiro Controlador Lógico Programável (CLP), o qual permitiu a programação de sistemas digitais e tornou possível a automação dos processos fabris (DRATH; HORCH, 2014; SCHWAB, 2017; SHARMA *et al.* 2021).

Em 2011, na feira industrial “*Hannover Messe*” na cidade de Hanôver na Alemanha, pela primeira vez faz-se referência ao que seria conhecido com a Quarta Revolução Industrial, através da definição do termo “*Industrie 4.0*” ou Indústria 4.0 (I4.0) (GEISSBAUER; VEDSO; SCHRAUF, 2016; XU *et al.* 2021) . Este termo foi definido como um conceito de sistema de produção fundamentado nos recentes desenvolvimentos das Tecnologias da Informação (TI’s) associados aos sistemas de automação, os quais estão conduzindo a profundas transformações os processos produtivos e sendo estudado concomitantemente ao seu acontecimento, diferentemente das três Revoluções Industriais passadas (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; JIANG *et al.*, 2021).

A partir deste ponto, várias empresas passaram a desenvolver soluções focadas nesse conceito, apoiadas por seus governos, principalmente os europeus (em especial Alemanha),

mas também por países como os Estados Unidos, Japão e a China, indicando que esta nova Revolução Industrial será adotada como estratégica pelas grandes potências industriais (KAGERMANN *et al.*, 2013; KHIN; DAISY, 2022). A prova desse fato são os próprios programas de governo destes países focados no planejamento e o desenvolvimento das TI's para suas indústrias, por exemplo, o governo alemão em 2011 criou programa “*Industrie 4.0 - Hightech-Strategie 2020 für Deutschland*”, já os Estados Unidos no mesmo ano anunciaram o “*Advanced Manufacturing Partnership*”, a China em 2015 deu início ao “*Made in China 2025*” e o Japão em 2016 inaugurou o “*Strategic Council on Artificial Intelligence Technology*” presidido pelo primeiro ministro daquela época, Shinzo Abe. Todas estas iniciativas buscam colocar as respectivas nações no topo do *ranking* mundial em mercados tecnológicos (KAGERMANN *et al.*, 2013; SCHWAB, 2017; KHIN; DAISY, 2022).

A I4.0 ou Manufatura Avançada (MA) está alicerçada nas recentes TI's, como o uso da conexão à rede digital para controlar dispositivos eletrônicos, *softwares* de análise de um grande volume de dados, *softwares* de simulação virtual entre outras, sendo possível através dessas tecnológicas elaborar sistemas de produção com maior capacidade de autogestão, possibilitando uma maior customização dos produtos sem perder as vantagens econômicas da produção em massa (LASI *et al.*, 2014; XU *et al.* 2021).

Além disso, a interação entre homens e máquinas vem se tornando cada vez mais usual, mesmo que em posições geográficas longínquas, formando assim grandes redes de comunicação e sendo possível fornecer produtos e serviços de forma autônoma independente da distância, criando assim uma ruptura no padrão de relacionamento entre a produção, produto e cliente (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018). Desta forma, é possível agregar valor à toda cadeia organizacional, a partir de mudanças que afetarão diversos níveis dos processos produtivos, como a manufatura, o projeto, os produtos, as operações, os serviços e os demais sistemas relacionados à produção (ZAWADZKI; ŻYWICKI, 2016; KUMAR *et al.* 2022).

Com todas essas alterações no ambiente de manufatura ocorrendo concomitantemente com os dias atuais é natural que uma série de questionamentos surja sobre o tema, principalmente sobre as tecnologias, que irão compor uma I4.0, uma vez que a mesma, para ser denominada com “4.0” deverá apresentar certos princípios como: interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação, orientação a serviços e modularização (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Outro ponto a ser observado é a inserção destas tecnologias de maneira integrada com as estratégias de competitividade das manufaturas, uma vez que segundo Porter (1985) e

Slack (1991) os investimentos realizados em novas tecnologias de produção devem estabelecer a vantagem competitiva necessária para as empresas manterem ou expandir sua fatia de mercado frente aos concorrentes. Contudo, dependendo do tipo de negócio praticado pela empresa, de suas expectativas futuras e do nível de tecnologia “4.0” já incorporada, a empresa deve seguir um caminho diferenciado das demais (PIETREWICZ, 2019). De acordo com Adamik e Nowicki (2020) e Grabowska e Saniuk (2022) esta definição cronológica de aquisições de equipamentos para produção (*hardwares* e *softwares*) até alcance da estrutura de I4.0 alinhada com as estratégias desejadas, ainda não está estabelecida na literatura. Dessa maneira, cabe ao presente trabalho propor a sequência de incorporações tecnológicas necessárias ao alcance de tal desafio.

Para o alinhamento entre esses eixos de pesquisa pretende-se estabelecer as funcionalidades que representam cada tecnologia desta última Revolução Industrial, de acordo com a teoria de Análise de Valor (AV) de Miles (1947).

Em função do exposto pode-se formular a seguinte pergunta de pesquisa: Quais as tecnologias necessárias para que a manufatura possa atender aos princípios da I4.0, levando em conta a estratégia de competitividade adotada pela empresa?

Em posse da pergunta de pesquisa pode-se estabelecer os objetivos que nortearão o trabalho, conforme apresentados na sequência.

## 1.2.OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral é propor um modelo de inserção das tecnologias da Quarta Revolução Industrial alinhadas com a manufatura e as estratégias de competitividade da empresa.

A partir do objetivo geral, e para que o mesmo seja atingido, os objetivos específicos formulados são os seguintes:

- Estabelecer a correlação entre as funções das tecnologias que compõe a I4.0 e as estratégias de competitividade da empresa;
- Determinar os índices mínimos de desempenho das funções por estratégia de competitividade;
- Estabelecer o equilíbrio das funções da manufatura no ambiente de I4.0; e
- Definir as tecnologias básicas para a composição de um Sistema Físico-Cibernético de Produção que melhor representa cada estratégia.

### 1.3. INEDITISMO DO TRABALHO

Lasi *et al.* (2014), Moeuf *et al.* (2018) e Dos Santos *et al.* (2020) relatam que algumas das barreiras para implementação de uma I4.0 estão relacionadas a resistência interna das empresas às mudanças, principalmente na cultura organizacional, nos processos e nos investimentos a serem realizados. Além disso, a preocupação quanto à segurança de dados e o próprio desconhecimento de certas tecnologias e suas funcionalidades são caracterizados como empecilhos internos a este processo de mudança do sistema produtivo (ANDERL, 2014; SICARI *et al.*, 2015; BABICEANU; SEKER, 2016).

Já Schwab (2017) e Chauhan *et al.* (2021) apresentam outros obstáculos, porém externos às empresas para a implantação da MA, como a falta de infraestrutura tecnológica (e.g. rápida conexão à rede de computadores, instabilidade no fornecimento de energia elétrica e *etc.*), escassez de mão-de-obra qualificada para trabalhar com tecnologia de ponta e a ausência ou baixa atratividade dos incentivos governamentais para o desenvolvimento de um setor industrial altamente tecnológico.

Apesar disto, alguns autores como Anderl (2016), Hermann, Pentek e Otto (2016), Telukdarie *et al.* (2018), Frank, Dalenogare, Ayala (2019), Santos e Martinho (2020) e Shao *et al.* (2021) descrevem modelos que podem auxiliar neste processo de implantação de novas tecnologias produtivas, sejam através da definição de princípios a serem seguidos pela indústria ou guias de maturidade para a manufatura.

Hermann, Pentek e Otto (2016) identificam a interoperabilidade, a virtualização, a descentralização, a adaptação, a orientação a serviços e a modularização dos sistemas produtivos com princípios básicos para concepção de uma arquitetura de I4.0.

Já Anderl (2016) apresenta um guia de maturidade para as manufaturas com cinco níveis de digitalização para seis possíveis áreas de implementação para I4.0 (e.g. processamento de dados na produção, comunicação entre máquinas, conectividade corporativa, infraestrutura para troca de informações, interface homem-máquina e eficiência para produção de pequenos lotes).

Frank, Dalenogare, Ayala (2019) propõem em seu guia três níveis de maturidade digital nas áreas de implementação integração vertical, gestão de energia, rastreabilidade, automação, virtualização e flexibilidade da cadeia de suprimentos.

Enquanto, Santos e Martinho (2020) sugerem à avaliação da maturidade digital a partir da avaliação das áreas de cultura do trabalhado, inteligência do ambiente, inteligência do processo e inteligência dos produtos e serviços ofertados.



Por último, Shao *et al.* (2021) apresentam uma estrutura de e implantação avaliando as áreas de abordagem multifuncional e atividades de melhoria contínua das empresas.

A partir da análise das propostas destes modelos percebe-se a ausência de uma estrutura que ordene as implantações tecnológicas nas manufaturas e as relacione as estratégias competitivas praticadas. Este fato também é relatado por Adamik e Nowicki (2020) e Grabowska e Saniuk (2022), onde se menciona que esse tipo de análise nas tomadas de decisões para fins de aquisição das tecnologias de produção busca potencializar as vantagens competitivas e otimizar os investimentos realizados.

Desta forma, entende-se que para prover uma maior eficiência na implantação da I4.0 é necessário reduzir as barreiras relacionadas às incertezas quanto a escolha das tecnologias que estariam alinhadas com a estratégia competitiva adotada pela empresa. Também é preciso reduzir os riscos dos investimentos por meio de uma ordenação planejada de implementação das tecnologias que maximizam o Valor Econômico (VE) agregado a elas.

Em face do exposto, o ineditismo da presente pesquisa está na proposição de uma estrutura ordenada de implementação progressiva de tecnologias, de acordo com a estratégias de competitividade que uma empresa de manufatura possa adotar. Tal organização auxiliará na obtenção dos níveis de desempenho de I4.0 planejado em consonância com a vantagem competitiva necessária para esta empresa atingir seus objetivos estratégicos. Além disso, orientará os seus investimentos nas tecnologias que melhor lhe beneficiam estrategicamente.

#### 1.4.CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA E PRÁTICA

Diferentemente dos modelos citados na seção anterior, os quais propõem guias de maturidade para a manufatura baseado na avaliação do desenvolvimento de determinadas áreas ou definem princípios a serem seguidos pela indústria, o presente trabalho buscará ordenar as tecnologias de produção industrial a serem implementadas relacionando as estratégias competitivas de Slack (1991). Esta organização fornecerá o apoio a tomada de decisão das incorporações tecnológicas necessárias para que as empresas possam desenvolver suas competências de I4.0 juntamente às vantagens competitivas desejadas (ADAMIK; NOWICKI, 2020; GRABOWSKA; SANIUK, 2022).

Já o fato do modelo proposto utilizar o conceito de VE definido por Miles (1961) para sua composição é justificado por Mirshawka (1993) e Tucker (1999), certa vez que o Valor agregado as tecnologias de produção trazem à tona a necessidade de conciliar suas opções com os benefícios em Valores entregues aos clientes, ou seja, todas as escolhas feitas devem agregar

Valor diretamente à empresa e ao cliente final dela, sob pena de não se justificar o alto investimento nesses equipamentos.

Portanto, a contribuição teórica deste trabalho estará no uso do conceito do VE agregado as tecnologias de manufatura relacionado as estratégias de competitividade e os níveis de digitalização almejados pelas empresas, enquanto a contribuição prática estará na estrutura gradual desenvolvida que vincula o VE ao processo de tomada de decisão da composição tecnológica.

### 1.5.LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A primeira das limitações do trabalho diz respeito ao fato do modelo proposto ser aplicável apenas a empresas de manufatura, incluindo aquelas que trabalham com sistemas de produto-serviço em seu *portfólio*. Isto se justifica, uma vez que os eixos de pesquisa são as tecnologias de estruturação de uma I4.0 e as estratégias de competitividade no ambiente de manufatura de produtos. Porém a aplicação do modelo em empresas “puramente” prestadoras de serviços, não seria indicada, sem as devidas adaptações metodológicas.

A segunda limitação é aplicação restrita às empresas que se encontram em ambiente de “livre concorrência”, visto que as empresas “filantrópicas” ou ainda que estejam em situação de “monopólio” no mercado, não apresentam a característica de “competitividade”, seja por não terem fins lucrativos ou por não possuírem concorrentes diretos e indiretos (PORTER, 1985; SLACK, 1991; BATEMAN; SNELL, 2015). Logo, a “vantagem competitiva” é inexistente nesses ambientes, conseqüentemente, a aplicação do conceito de Valor agregado se torna dispensável nesses casos (MIRSHAWKA, 1993; GALE; WOOD, 1996; TUCKER, 1999; MARAMALDO, 2000).

Outra limitação é referente ao atendimento do objetivo específico: “determinar os índices mínimos de desempenho das funções por estratégia de competitividade”, uma vez que segundo Pereira Filho (1994) a mensuração do desempenho de uma função de um dado produto é calculado pela multiplicação do Grau de Satisfação (GS) do usuário frente ao desempenho dessa função com o Grau de Importância (GI) que esta função apresenta frente às demais funções desempenhadas pelo objeto de estudo. Logo, se sabe que para obter o GS é necessário a comparação com experiências passadas em relação ao desempenho apresentado por esta função. Conseqüentemente, neste trabalho é inviável a realização de testes de experimentação prévia das tecnologias de estruturação de I4.0, devido a questões técnicas e financeiras, além do fato de que o GS é um sentimento pessoal quantificado que irá variar para cada caso de implementação de

MA. Sendo assim, para contornar esta situação se assumirá a premissa que todas as funções analisadas trarão a satisfação plena para o usuário.

Por fim, a quarta e última limitação do trabalho é relativa às tecnologias encontradas pela pesquisa, pois há a possibilidade do surgimento de novas tecnologias ou de novas funcionalidades para essas tecnologias que poderão não estar integradas neste trabalho. Caso isto ocorra, os procedimentos metodológicos utilizados deverão ser novamente aplicados para a obtenção de resultados assertivos neste novo cenário.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em sete capítulos. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica sobre a mudança do contexto na manufatura decorrente da Quarta Revolução Industrial, os princípios, níveis de desempenho e tecnologias da MA, além dos conceitos de estratégias de competitividade e a metodologia de AV. Na sequência, o terceiro capítulo é destinado à exposição dos procedimentos metodológicos e a estrutura metodológica utilizada para a construção, análise e validação do modelo proposto. Já o quarto capítulo é reservado à apresentação das fases de desenvolvimento do modelo proposto, enquanto o quinto capítulo é designado à análise funcional e dos aspectos estruturais do modelo. O sexto capítulo procede com a aplicação do modelo no processo de recebimento, armazenamento e entrega de Matéria-Prima (MP) em uma empresa de manufatura têxtil, com o propósito de validá-lo, por meio desse estudo de caso. E por fim, o sétimo capítulo é destinado às conclusões e a sugestões para trabalhos futuros.

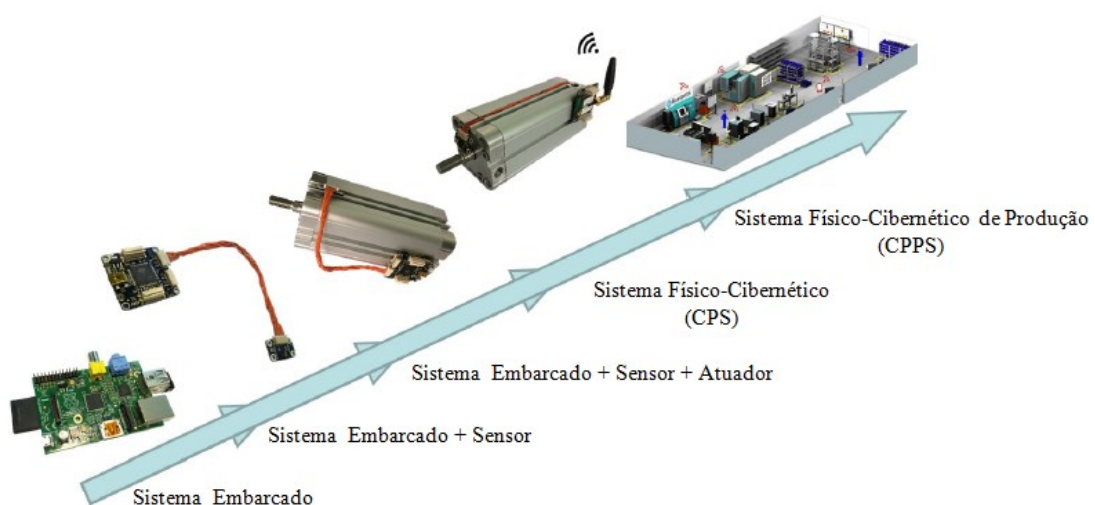
## CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste segundo capítulo, são apresentadas as mudanças no ambiente fabril decorrente desta última Revolução Industrial, bem como princípios, níveis de desempenho e tecnologias da I4.0. Além disso, é exposto o papel que as estratégias de competitividade possuem para o desenvolvimento da vantagem competitiva entre as empresas e a metodologia de AV utilizada para estudo das funções presentes em cada tecnologia pesquisadas. Ao término serão feitas considerações sobre os pontos relevantes que servirão de base para a explicação dos procedimentos metodológicos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

### 2.1. INDÚSTRIA 4.0/MANUFATURA AVANÇADA (I4.0/MA)

A I4.0 representa a integração das atividades de produção até a entrega do produto final ao cliente, através de um conjunto de TI's na forma de Sistemas de Físico-Cibernéticos de Produção ou *Cyber-Physical Production Systems (CPPS's)*, sendo esses sistemas, a associação entre a virtualização e os processos físicos produtivos (WANG *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2021). Já os sistemas Físico-Cibernéticos “puros” ou *Cyber-Physical Systems (CPS's)* podem ser entendidos como uma configuração conjunta de sistemas embarcados, sensores, atuadores e com capacidade de conexão à rede digital (RAJKUMAR *et al.*, 2010; DAFFLON *et al.*, 2021). A Figura 1 mostra uma abordagem de configuração que permite a criação de um CPS e sua aplicação em CPPS.

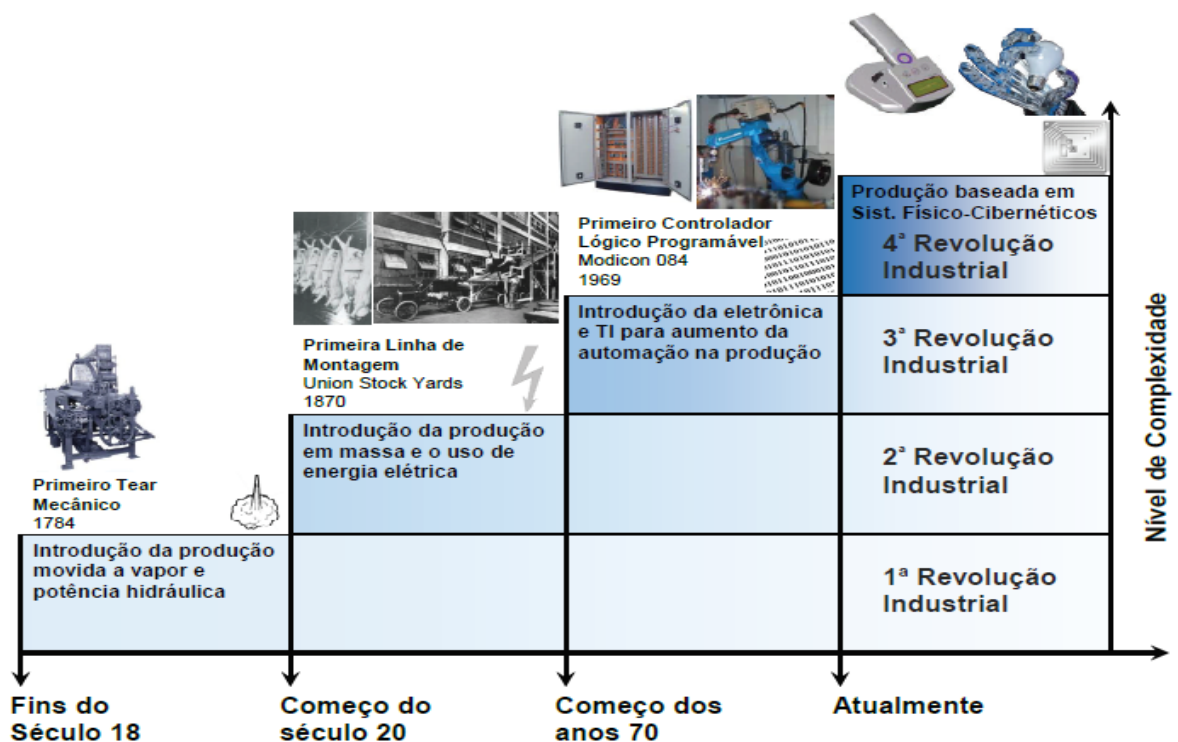
Figura 1- Composição de um Sistema Físico-Cibernético



Fonte: Rajkumar *et al.* (2010).

Já a Figura 2 ilustra o aumento no grau de complexidade na produção e os marcos da evolução tecnológica responsável por cada Revolução Industrial até a atualidade. Inicia-se com a invenção do primeiro tear a vapor em 1784 por Edmund Cartwright e Richard Arkwright na cidade de Derbyshire na Inglaterra, passando pelo desenvolvimento das linhas de produção em 1870 na *Union Stock Yard & Transit Company*, um conglomerado frigorífico em Chicago nos Estados Unidos e a criação do primeiro CLP em 1969 pela *Bedford Associates* para a *General Motors Company* em substituição de seus painéis de controle que ainda utilizavam relés, até a concepção dos *CPPS's* responsáveis pelo controle das manufaturas mais avançadas (RODRIGUES; DE JESUS; SCHÜTZER, 2016).

Figura 2 - Estágios das Revoluções Industriais



Fonte: Rodrigues, De Jesus e Schützer (2016).

Para Brettel *et al.* (2014) está última evolução dos sistemas de produção só está sendo viabilizada, graças aos avanços tecnológicos na conexão via rede digital, que além de comportar a comunicação entre as pessoas, vem evoluindo com a comunicação entre máquinas, ou seja, *Machine-to-Machine (M2M)* nestes *CPPS's*. Deste modo, a digitalização de ponta-a-ponta dos ativos físicos da manufatura é o diferencial da Quarta Revolução Industrial em relação às demais, principalmente em relação à terceira, uma vez que, a “Indústria 3.0” viabilizou o desenvolvimento da automação e digitalização de máquinas e processos de maneira individualizada (DRATH; HORCH, 2014; JIANG *et al.*, 2021).

Além disso, essa nova concepção de manufatura pode ser caracterizada pela sua estruturação modular, na qual os produtos podem controlar seu próprio sistema produtivo com sistemas embarcados, baseados em sensores e atuadores para possibilitar a comunicação e o controle da operação (ANDERL, 2014). Estes sistemas possibilitam a produção de lotes unitários mantendo as condições econômicas da produção em massa, conceito esse denominado como Customização em Massa (CM) (LASI *et al.*, 2014; ALLES *et al.*, 2021).

Os processos realizados em uma MA podem obter dados de fornecedores, clientes e da própria empresa, os quais podem ser avaliados para posteriormente serem integrados à produção real/física (BRETTEL *et al.*, 2014; FAN *et al.*, 2021). Nela, a cadeia de suprimentos é completamente integrada. A utilização de tecnologias, como máquinas colaborativas e sensores, resulta em processos de produção mais ajustados, com tempo de resposta imediato (FRAZZON *et al.*, 2020).

Dessa forma, a produção é totalmente automatizada e autônoma, com a comunicação *M2M*, e as informações sendo transmitidas em tempo real. Conseqüentemente, o processo de produção poderá ser realizado por meios digitais e aplicado ao ambiente físico, onde o colaborador poderá acompanhar todo o processo a distância, obtendo informações necessárias de forma simultânea, sendo este conceito conhecido também com *Digital Twin* (VAIDYA; AMBAD; BHOSLE, 2018; AGOSTINO *et al.*, 2020).

Segundo Rodrigues, De Jesus e Schützer (2016) a implementação de uma I4.0 demanda um alto grau de estudo e tempo para ser atingido completamente, porém os autores sugerem dois modelos que podem auxiliar nesse processo.

O primeiro modelo é o de Hermann, Pentek e Otto (2016), que traz seis princípios de concepção para uma arquitetura de uma I4.0, sendo eles:

- Interoperabilidade: significa que todos os *CPS's* dentro da fábrica são capazes de se comunicar uns com os outros;
- Virtualização: significa que *CPS's* são capazes de monitorar processos físicos. Uma cópia real do mundo físico é realizada através de dados de sensores ligados as máquinas. Logo, a elaboração de modelos digitais se torna possíveis, ou seja, a criação de um *Digital Twin*;
- Descentralização: os sistemas embarcados permitem que *CPS's* tomem decisões por conta própria. Apenas em casos de falha, as tarefas são delegadas a um nível superior. Dessa forma, a descentralização é a capacidade dos *CPS's* tomarem decisões por conta própria em um *CPSS's*.











- Adaptação: para a organização do plano de produção, muitas vezes é preciso que os dados sejam coletados e analisados concomitantemente. Assim, o *CPPS's* pode reagir à falha de uma máquina e reencaminhar os produtos para outra máquina. A análise de dados em tempo real é a capacidade de coletar e analisar dados e fornecer *insights* imediatamente;
- Modularização: sistemas modulares são capazes de adaptar-se com flexibilidade às mudanças nos requisitos de substituição ou expansão de módulos individuais. Portanto, os sistemas modulares podem ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou se as características do produto forem alteradas. Então, modularização é a adaptação flexível dos *CPPS's* para mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais;
- Orientação a serviços: é a oferta de serviços de empresas, novos *CPS's* e mão-de-obra através da internet;

Basicamente, esses princípios de Hermann, Pentek e Otto (2016) dão suporte às empresas na identificação de possíveis projetos de digitalização, que depois podem ser implementados.

Já o modelo de Anderl (2016) apresenta um guia de maturidade de I4.0 e “produtos 4.0” conhecido como *Toolbox Industrie 4.0*, conforme ilustração na Figura 3 e na Figura 4. Essa abordagem visa a analisar competências específicas da manufatura e dos produtos, para propor uma digitalização mais avançada e auxiliar na composição tecnológica de novos modelos de negócios.

A *Toolbox Industrie 4.0* é estruturada em seis camadas de aplicação e cinco níveis de desempenho. As camadas de aplicação indicam possíveis áreas de implementação para I4.0 ou “produtos 4.0”, enquanto os níveis de desempenho identificam o grau de digitalização em que a manufatura ou o produto se encontram. Logo, com o conhecimento destes dois parâmetros é possível se realizar os mais diversos projetos de digitalização nas indústrias.

Figura 3 - *Toolbox Industrie 4.0* para Manufatura

| Camadas de Aplicação                               | Níveis de Desempenho   |   |  |   |   |
|--|--|---|--|---|---|
|  | 1  | 2   | 3  | 4   | 5   |
| Processamento de dados na produção                 | <b>Manufatura</b>  |   |  |   |   |
|  |     |  |  |  |  |
|  | Nenhum processamento de dados  | Armazenamento de dados para documentação  | Análise de dados para monitoramento dos processos                                  | Avaliação dos dados para planejamento e controle do processo                        | Processo automatizado de planejamento e controle do processo                        |
| Comunicação entre Máquinas (M2M)                   |    |   |  |   |   |
|  | Nenhuma comunicação  | Interface <i>Fieldbus</i>   | Interface para Ethernet Industrial   | Máquinas que dispõem de acesso a Internet   | Comunicação M2M via Internet  |
| Conectividade corporativa com a produção           |    |   |  |   |   |
|  | Nenhuma rede entre a produção e outras divisões corporativas                         | Troca de informações via email ou telefone  | Formato de dados e regra para troca de dados padronizados                          | Formato de dados padronizado e servidor em rede                                     | Soluções de TI em rede  |
| Infraestrutura de troca de informações na produção |  |   |  |   |   |
|  | Troca de informações via email ou telefone   | Servidor de dados central na produção   | Compartilhamento de dados via portal de internet                                   | Troca de informações automatizada   | Fornecedores estão completamente integrados na configuração do processo             |
| Interface Homem-Máquina                            |  |   |  |   |   |
|  | Não há troca de informação entre homem e máquina                                     | Uso de dispositivos locais para visualização de dados                             | Monitoramento e controle da produção centralizado                                  | Uso de dispositivos móveis  | Realidade Aumentada   |
| Eficiência para pequenos lotes de produção         |  |   |  |   |   |
|  | Meio de produção rígido de baixa proporção de peças idênticas                        | Uso de meio de produção flexível e peças idênticas entre produtos                 | Meio de produção flexível e construção de produtos com estrutura modular           | Produção flexível de produtos modulares dentro da empresa dirigidas pelo componente | Produção modular em rede de valor dirigida pelo componente                          |

Fonte: Anderl (2016).



Figura 4 - *Toolbox Industrie 4.0* para Produto

| Camadas de Aplicação  | Níveis de Desempenho                         |   |  |   |  |
|---|--|---|--|---|--|
|   | 1  | 2   | 3  | 4   | 5  |
| Integração de sensores/ atuadores                                 |  |   |  |   |  |
|   | Nenhuma utilização de de sensores/ atuadores | Sensores e atuadores estão incorporados/ integrados         | Dados dos sensores são processados pelo produto                        | Dados são avaliados e interpretados pelo produto para análise           | O produto reage autonomamente com a base nos dados obtidos |
| Comunicação/ conectividade  |  |   |  |   |  |
|   | Nenhuma interface no produto                 | O produto envia e/ ou recebe sinais por <i>input/output</i> | Produto dispõe de interface <i>Fieldbus</i>                            | Produto dispõe da interface para Ethernet industrial                    | Produto dispões de acesso a internet                       |
| Funcionalidades para armazenamento de dados e troca de informação |  |   |  |   |  |
|   | Nenhuma Funcionalidade                       | capacidade para identificação única                         | O produto dispõe de armazenamento de dados passivo                     | Produto com armazenamento o de dados para troca autônoma de informações | Troca de dados e informações com parte integrante          |
| Monitoramento   |  |   |  |   |  |
|   | Nenhum monitoramento através do produto      | Deteccção de falhas   | Registro da condição operacional para diagnóstico                      | Prognóstico da próprira capacidade operacional                          | Decisão autônomas para controle                            |
| Serviços de TI relacionados ao produto                            |  |   |  |   |  |
|   | Nenhum serviço                               | Serviço através de portais online                           | Execução do serviço diretamente sobre o produto                        | Execusão autônoma de serviços   | Plena integração na infraestrutura de serviços de TI       |
| Modelos de negócio sobre o produto                                |  |   |  |   |  |
|   | Ganho através da venda dos produtos          | Venda e consultoria sobre o produto                         | Venda, consultoria e adaptação de produtos a necessidades dos clientes | Venda adicional de serviços relacionados ao produto                     | Venda de função do produto                                 |

Fonte: Anderl (2016).

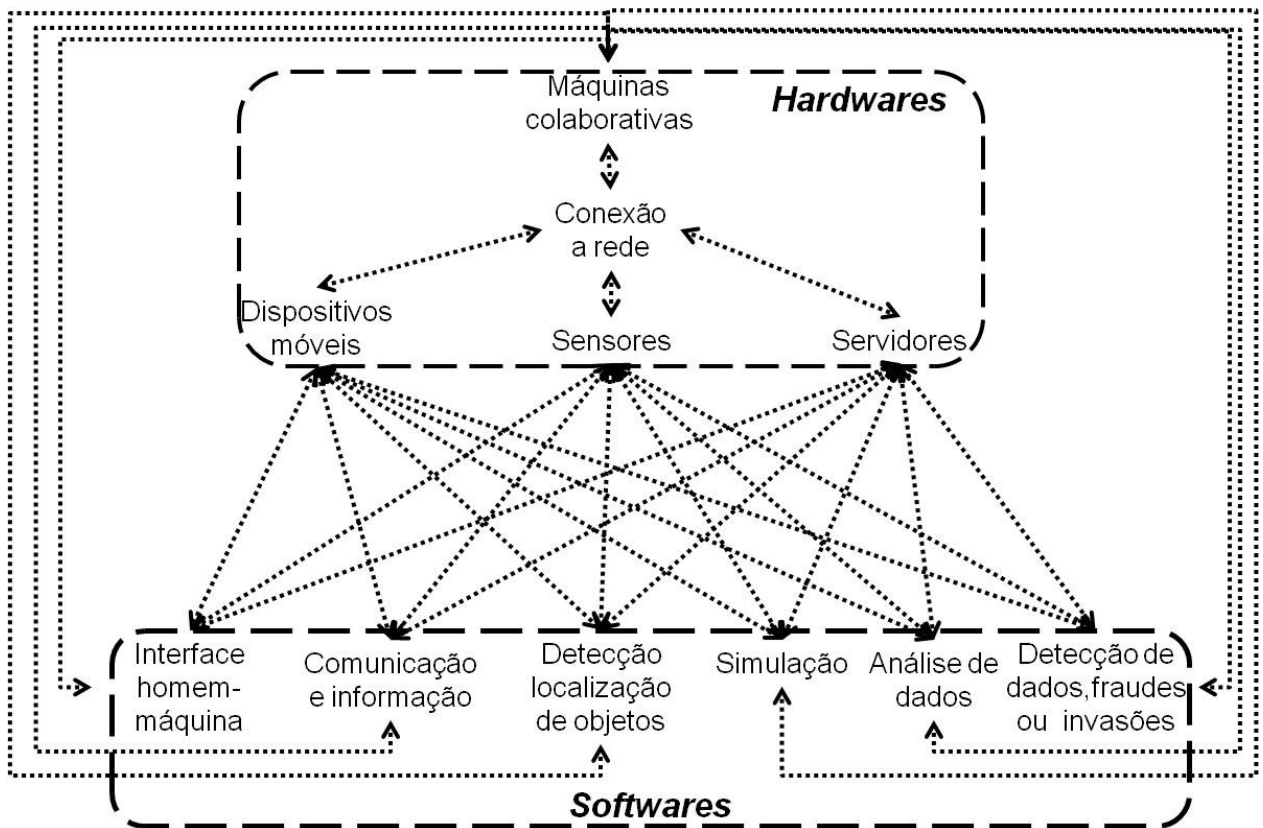
Rodrigues, De Jesus e Schützer (2016) ainda afirmam que as camadas de aplicação da *Toolbox Industrie 4.0* de Anderl (2016) respeitam aos seis princípios propostos por Hermann, Pentek e Otto (2016), sendo possível, conseqüentemente, utilizar ambos modelos de maneira complementar. Por outro lado, essas ferramentas não divulgam a infraestrutura tecnológica necessária para que uma manufatura seja enquadrada como uma I4.0 e nem as vantagens competitivas que essa estrutura tecnológica adotada irá trazer para a produção. Desta forma, fica a cargo do modelo proposto atuar de maneira conexa a estes modelos e apresentar essas novas informações, para então apoiar-se o processo de composição tecnológica de uma MA orientada as estratégias competitivas.

Quanto às estruturas tecnológicas para representação de um *CPPS*, Lasi *et al.* (2014), Monostori (2014), Anderl (2015), Lee, Bagheri e Kao (2015), Geissbauer, Vedso e Schrauf (2016), Schwab (2017), Ghobakhlllo (2018) e Veneri e Capasso (2018) relatam alguns exemplos, compostos por *hardwares* e *softwares* capazes de digitalizar os mais diversos tipos de sistemas produção (e.g. projetos, *jobbing*, lotes, massa e contínuo) e transformá-los em autênticos sistemas produtivos de CM.

Geissbauer, Vedso e Schrauf (2016) destacam, também, que a digitalização de uma manufatura para ocorrer por completo, deve acontecer em toda sua cadeia de valor, nos acessos dos clientes ao negócio e nos produtos e serviços ofertados (observado os casos de indústrias que trabalham com os sistemas produto-serviço em seu *portfólio*, vide Tukker (2004)).

Desta forma, a estrutura a ser utilizada no trabalho é composta por onze tecnologias de suporte a I4.0, sendo cinco *hardwares* e seis *softwares*, onde sua delimitação utilizou como base os critérios de compatibilidade entre *hardwares* e de instalação e operação dos *softwares* dos trabalhos de Amar, Russelo e Crispo (2018), Kovalev *et. al.* (2021) e Guo *et. al.* (2022). Critérios estes como a conexão dos *drivers* com os *softwares* de controle, sensoriamento em tempo real, uso de uma linguagem única para comunicação entre os sistemas, aplicação de estruturas de *framework* comum a todos os dispositivos do *CPPS*, utilização de portas de conexões já padronizadas e a capacidade de monitoramento virtual dos eventos da produção. A seleção destes critérios foi focada no desenvolvimento de um ambiente de I4.0 modular e comum as mais diversas atividades de manufatura. Além disso, durante este processo de delimitação da estrutura buscou-se não direcionar nenhuma das onze tecnologias a um produto específico, pois acredita-se que tal escolha deve ser deixada a cargo do gestor da manufatura.

Figura 5 - Tecnologias para Estruturação de uma I4.0.



Fonte: Elaborado com base em Lasi *et al.* (2014), Monostori (2014), Anderl (2015), Lee, Bagheri e Kao (2015), Geissbauer, Vedso e Schrauf (2016), Schwab (2017), Ghobakhlllo (2018) e Veneri e Capasso (2018).

Conforme ilustração da Figura 5, as tecnologias de estruturação para uma MA são divididas nesta pesquisa em onze categorias, sendo elas:

- *Hardwares* de máquinas colaborativas: são equipamentos, dotados de sistemas embarcados, Inteligência Artificial (I.A.) e com conectividade via rede digital a produtos e outros equipamentos, formando sistemas colaborativos com os seus operadores (MICHNIEWICZ; REINHART, 2014; Ying *et al.*, 2021);
- *Hardwares* de dispositivos móveis: também conhecidos na literatura com *Handheld*, são equipamentos eletrônicos portáteis dotados de visores e processadores internos com capacidade de se conectarem a outros equipamentos eletrônicos através das redes digitais, sendo estes utilizados muitas vezes para averiguação, configuração e controle do *CPPS* (YAO; LIN, 2015; BIGLIARDI; CASELLA; BOTTANI, 2021);
- *Hardwares* de sensores: são dispositivos que respondem a um estímulo físico ou químico de maneira específica e que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento e posteriormente essas medidas

pode ser utilizadas para uma tomada de decisão de um sistema automatizado (FRADEN, 2010; JAVAID *et al.* 2021);

- *Hardwares* de conexão à rede: são dispositivos responsáveis pela comunicação via rede digital entre outros dispositivos conectados a essa rede, em tempo real. Assim, é possível monitorar uma grande quantidade de produtos e máquinas instantaneamente, facilitando a descentralização do processo decisório de gerenciamento da manufatura. Além disso, a infraestrutura dessas redes pode ser de conexão local, por exemplo, uma conexão *Ethernet*, por questões de segurança das informações ou possuir conexão global, por exemplo, uma conexão de *Internet*, para uma maior descentralização do processo produtivo. Na literatura esta capacidade de controlar objetos físicos via conexão à rede é definido como *Internet of Things (IoT)* (WANG, L.; TÖRNGREN; ONORI, 2015; KHAN; JAVAID, 2021). Já, a conexão à rede para fins de serviços destinados a indústria (e.g. serviços de manutenção, limpeza, logísticos e *etc.*) ou serviços que a indústria possa oferecer ao mercado (e.g. alugar parte de sua capacidade produtiva, venda de horas máquinas e *etc.*), é conhecido com *Internet of Services (IoS)* (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009);
- *Hardwares* de servidores: são dispositivos de armazenagem de informação, que se tornaram viáveis graças à evolução da conexão em rede digital, uma vez que o compartilhamento de informações em tempo real pode garantir que os dados e programas estejam disponíveis em todos os lugares, o tempo todo e em qualquer terminal digital (WU *et al.*, 2015). Desta forma, os *hardwares* de servidor podem ser internos ao ambiente fabril, por questões de segurança da informação, ou utilizar-se um servidor remoto, conhecido também como “Servidor em Nuvem” ou “*Cloud Server*”, por questões de custos de aquisição, manutenção e operacional (GUPTA; SEETHARAMAN; RAJ, 2013; DUAN; DA XU, 2021);
- *Softwares* de interface homem-máquina: são programas computacionais que fazem a comunicação entre os comandos do operador e as operações realizadas pelas máquinas, podendo ser utilizados por dispositivos conectados via cabo às máquinas ou em máquinas mais modernas essa comunicação entre *software* e a máquina é feita via rede digital (LEE; BAGHERI; KAO, 2015; BOKEN; SCHILUSE; ROSSMANN, 2022). Além disso, esses *softwares* apresentam uma variedade de recursos gráficos desde interfaces com duas a três dimensões espaciais, sendo possível ainda a utilização de imagens 360° para a maior inserção

do usuário em um ambiente virtual (e.g. realidade virtual) com a finalidade de facilitar a comunicação entre homens e máquinas (LEE; HAN; YANG, 2011; FIRU *et al.* 2021).

- *Softwares* de detecção e localização de objetos: são programas computacionais que fazem a localização de objetos com base em sensores neles acoplados (WU; LIM; YANG, 2015; GOGOLAK; FURSTNER, 2021);
- *Softwares* de detecção de dados, fraudes ou invasões: são programas computacionais de segurança que monitoram o tráfego de informações, garantindo assim o desempenho e a proteção da rede digital, das informações/dados e dos equipamentos a ela conectados (SICARI *et al.*, 2015; BABICEANU; SEKER, 2016);
- *Softwares* de análise de dados: são diversas ferramentas digitais destinadas à exploração de uma grande quantidade de dados de produção, também podendo aparecer em algumas literaturas designado como *Big Data Analytics Softwares* (KAMBATLA *et al.*, 2014; BONNARD *et al.*, 2021);
- *Softwares* de simulação: são ferramentas virtuais de modelagem e simulação que permitem a projeção do comportamento do produto ou serviço, o desempenho das linhas de produção e a coordenação das redes de distribuição, podendo chegar desta forma às soluções otimizadas de processos e operações industriais (MEHRSAI; KARIMI; THOBEN, 2013; MATSUDA; SUDO; KIMURA, 2016);
- *Softwares* de informação e comunicação: são ferramentas computacionais de comunicação entre as pessoas, que em um ambiente de negócios industriais pode ser utilizado para fins de informação dos clientes ou fornecedores referente ao estado atual de seus produtos ou serviços requisitados (JANUSKA; KURKIN; MILLER, 2010; KOUHINI *et al.*, 2021);

Uma vez conhecida a definição e a relevância que cada tecnologia de *hardware* e *software* possui no processo de digitalização fabril decorrente desta última Revolução Industrial, as próximas seções deste capítulo tratarão de apresentar o papel que as estratégias de competitividade possuem para o êxito da manufatura no mercado e as técnicas de AV utilizadas para levantamento das funções presentes nas tecnologias de estruturação da I4.0 e o alinhamento dessas funções com estas estratégias. Desta maneira, ao final do capítulo espera-se obter o ferramental teórico necessário para se iniciar a discussão sobre os procedimentos metodológicos necessários para a elaboração do trabalho.

## 2.2. ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE NA MANUFATURA

A competitividade só é alcançada quando a empresa ao oferecer um determinado Valor para seus clientes, esses estão dispostos a pagar um preço que a permite ter uma margem de lucro aceitável (MARAMALDO, 1989; GALE; WOOD, 1996). Além disso, este Valor oferecido deve ser mais vantajoso para os clientes do que os concorrentes oferecem como opção (HENDERSON, 1985; BATEMAN; SNELL, 2015). Desta forma, a empresa não se concentra apenas no seu cliente, mas também em como a concorrência agrega Valor. Se o cliente perceber que o concorrente lhe oferece um produto ou serviço com maior benefício pelo mesmo ou menor preço, a empresa não terá uma vantagem competitiva (MARAMALDO, 2000).

A preocupação com os concorrentes é a essência da competição empresarial, o que inclui a atenção no surgimento de novos entrantes, suas origens e pretensões de mercado (PORTER, 1980; GHEMAWAT, 1986; MINTZBERG, 1987). Seja qual for o setor em que a empresa atua, a obtenção de uma vantagem competitiva significa entender que uma fonte não é imutável, conseqüentemente, para uma empresa manter-se competitiva são necessárias inovações de suas tecnologias e de seus processos constantemente (PORTER, 1985; STALK, 1989).

Segundo Slack (1991) as empresas de manufatura, de uma maneira geral, estão inseridas em um ambiente extremamente competitivo, onde são forçadas a disputar insumos e mercados limitados e encontrar novos caminhos que levem a resultados maiores que seus custos operacionais. Devido a esse ambiente competitivo essas empresas devem tomar decisões como: selecionar objetivos, estabelecer metas, selecionar produtos/serviços, definir suas dimensões competitivas para posicionar-se no mercado, decidir o nível de diversificação de seus produtos/serviços, o nível de capacidade de seus recursos produtivos e implementar políticas e ações para atingir estes objetivos e dimensões competitivas (MATA; FUERST; BARNEY, 1995; HAMEL; PRAHALAD, 1996). Todas essas decisões e escolhas devem ser baseadas em uma estratégia de competitividade, pois como em outras áreas, na manufatura também é impossível ter desempenho ótimo em tudo.

Para Slack (1991) as estratégias de competitividade conduzem a manufatura a “fazer melhor”, sendo essa expressão definida com cinco significados diferentes:

- “Fazer certo” – não cometer erros, fazer produtos e serviços sem erros e sempre de acordo com as especificações de projeto. Através desse conceito a manufatura dá uma “vantagem de qualidade” à empresa;

- “Fazer rápido” – fazer com que o intervalo de tempo entre o início do processo de manufatura e a entrega do produto e serviço ao cliente seja menor do que a concorrência. A manufatura proporciona uma “vantagem velocidade” à empresa;
- “Fazer pontualmente” – manter a promessa de prazos de entrega, ou alternativamente, aceitar as datas de entrega solicitadas pelo cliente e cumpri-las pontualmente. Fazer pontualmente também aborda as entregas internas, ou seja, para clientes internos. Com isso, a manufatura dá à empresa a “vantagem da pontualidade”;
- “Ter a capacidade de mudar o que está sendo feito” – ser capaz de variar e adaptar a operação, seja porque as necessidades dos clientes são alteradas, seja devido a mudanças no processo de produção causadas, talvez, por mudança no suprimento dos recursos. Significa estar apto a mudar quando e quanto seja necessário e com rapidez suficiente. Com isso a função manufatura dá à empresa a “vantagem da flexibilidade”; e
- “Fazer barato” – fazer produtos e serviços a custos mais baixos do que os concorrentes conseguem administrar. A longo prazo, a única forma de conseguir, isto é, através da obtenção de recursos mais baratos e/ou transformando-os mais eficientemente do que os concorrentes. Logo, a manufatura dá à empresa a “vantagem de custo”.

Portanto, essas são as estratégias da manufatura propostas por Slack (1991): qualidade, velocidade, pontualidade, flexibilidade e custo. Dentro da indústria, o sistema produtivo em vigor (e.g. projetos, *jobbing*, lotes, massa, contínuo ou CM), associado com sua configuração atual de capacidade instalada, tipo de *layout*, grau de qualificação dos recursos humanos, forma de planejar e controlar a produção, grau de verticalização, níveis de variedade e volume de produtos a fabricar, serviços a oferecer e principalmente para este trabalho, o nível tecnológico produtivo, podem apresentar vantagens e desvantagens para algumas dessas estratégias (SLACK, 1991).

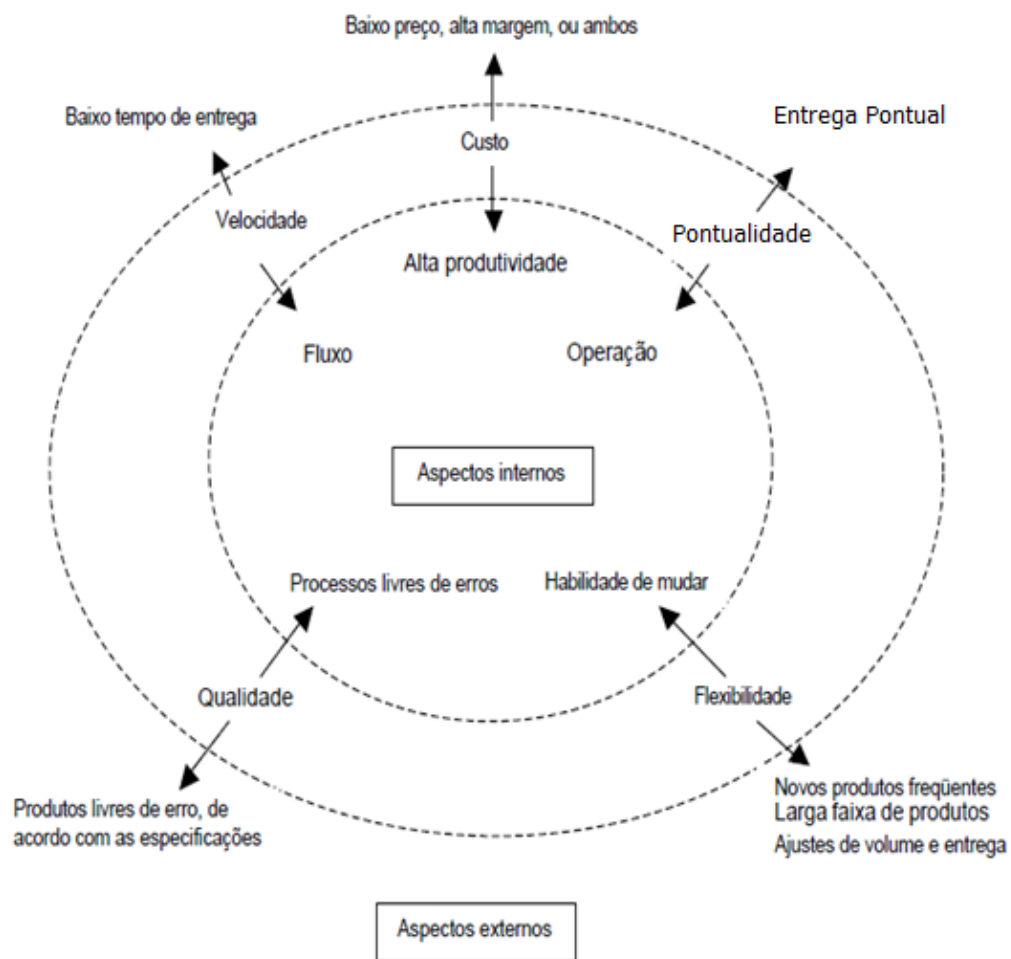
Logo, compreender quais devem ser as estratégias a serem adotadas pela manufatura frente aos concorrentes e clientes em consonância com o tipo de sistema produtivo e a configuração do ambiente fabril é o começo para a conquista da vantagem competitiva desejada (SLACK, 1991).

Dessa forma, é preciso distinguir entre os aspectos internos e externos de cada estratégia. Onde, de uma maneira geral, podem-se definir os aspectos externos como as

exigências de desempenho de uma determinada estratégia pelo mercado (i.e. cliente e concorrência), enquanto os aspectos internos são as exigências para a empresa ao adotar esta estratégia, ou seja, os requisitos para o sistema produtivos e as configurações de fabricação (SLACK, 1991).

A Figura 6 representa a interface entre os aspectos internos e externos das cinco estratégias.

Figura 6 - As Cinco Estratégias de Competitividade na Manufatura e seus Aspectos Internos e Externos



Fonte: Slack (1991).

Uma vez que a empresa compreenda a situação dos aspectos internos e externos de cada estratégia de competitividade da manufatura, ela compreenderá que em alguns momentos essas estratégias atuarão de forma antagônica e conflitante. Nesses momentos, será necessário trabalhar para que os esforços de desenvolvimento de um dos fatores, não afetem significativamente o desenvolvimento de outro fator, pois isso poderá acarretar um



descompasso em toda cadeia produtiva e minar os objetivos de competitividade traçados pela empresa.

Trabalhar essa interdependência/conflito (*trade-off*) de forma eficaz poderá transformar o que inicialmente se mostrava como uma impossibilidade em atingir novos objetivos em uma vantagem competitiva da empresa frente ao mercado (SLACK, 1991).

As subseções a seguir tratarão de explorar mais cada uma das estratégias competitivas para as empresas de manufatura, incluindo aquelas que trabalham com os sistemas produto-serviço em seu *portfólio*, evidenciando o efeito *trade-off* entre as suas estratégias e os impactos que a estruturação de um ambiente produtivo com alto nível tecnológico (i.e. uma I4.0) apresentam para o desenvolvimento das mesmas.

### 2.2.1. Estratégia da Qualidade

Os benefícios da qualidade afetam todos os aspectos do desempenho. A atividade de “fazer certo” dentro da operação pode transformar e influenciar em todos os aspectos nos resultados. Sem erros na manufatura o fluxo de materiais pela fábrica pode ser acelerado, e não se pode esperar agilidade de fluxo de produção quando problemas de qualidade continuamente atrasam o processo, além de uma diminuição na pontualidade entre as fases de produção, aumentando estoques de materiais em processo e os desperdícios de matéria-prima e de recursos pela produção com defeitos (SLACK, 1991).

Um alto índice de desempenho de qualidade interna não apenas impacta de forma satisfatória o consumidor final que recebe um produto ou um serviço sem erros, mas também melhora outros aspectos do desempenho da empresa, principalmente quanto à velocidade, pontualidade e custos (FERDOWS; DE MEYER, 1990).

De acordo com Slack (1991), os custos relacionados com a qualidade podem ser relacionados entre quatro títulos, custos de prevenção (evitando que erros aconteçam), custos de inspeção (checando para ver se os erros aconteceram), custos das falhas internas (lidando com os erros enquanto estão dentro da organização) e custos das falhas externas (falhas dos produtos/serviços que chegaram ao consumidor).

Logo, ao se imaginar um ambiente de uma empresa fabril altamente digitalizado, onde existe a possibilidade de armazenar as informações passadas relevantes a produção e compará-las rapidamente a informações atualizadas, coletadas por sensores acoplados as máquinas e produtos, com possibilidade de tomada decisões que aumentem os índices de capacidade de seus processos, conjuntamente, imagina-se que esta empresa apresente uma

maior vantagem competitiva de qualidade frente ao mercado em relação a outras empresas de produção de menor nível tecnológico (GEISSBAUER, VEDSO E SCHRAUF 2016). Desta forma, para avaliar a capacidade de uma manufatura têxtil digitalizada “fazer certo” o seu processo de recebimento, armazenamento e entrega de Matéria-Prima (MP), o indicador a ser usado, será a média semanal de pedidos de MP entregues.

### **2.2.2. Estratégia da Velocidade**

A velocidade envolve todo o ciclo do fluxo da produção. Para o consumidor a velocidade de uma operação é o período total que ele deve esperar entre o pedido e o recebimento do produto ou serviço. Para uma manufatura que produz bens de consumo, a velocidade envolve outros diversos ciclos entre a demanda do consumidor e a entrega, a redução dos produtos acabados disparará a decisão de produzir um lote para reposição de estoque, esta decisão envolve a programação de diversas atividades em vários estágios do processo de produção (HAYES; WHEELWRIGHT, 1984). Fisicamente, envolve movimentações de materiais de estoque e processamento deles através de vários estágios do roteiro de manufatura. Por trás do ciclo de “fazer” existe o ciclo de “compras”, com reposição de estoques, que envolve a transmissão do pedido aos fornecedores e espera pela sua entrega (SLACK, 1991).

Os benefícios da velocidade podem ser externos e internos em relação à empresa, a rapidez de resposta analisada em relação aos consumidores externos pode ser vista em circunstâncias de alta competitividade onde ter um tempo de entrega reduzido pode ser um objetivo ganhador de pedidos, como citado anteriormente, com a empresa sendo capaz de entregar seus produtos e serviços mais rapidamente (SLACK, 1991). Analisando os benefícios internos da velocidade, uma operação mais rápida permite melhores previsões, e uma proteção às previsões menos elaboradas, uma vez que a empresa possui habilidade para atender demandas mais rapidamente, diminuindo também a necessidade de altos níveis de estoques, e tempo de materiais em processo (SLACK, 1991). A velocidade também reduz as despesas indiretas, quanto mais rápido o ciclo de produção, menos ele requer de despesas com iluminação, espaço, controle e monitoração (FERDOWS; DE MEYER, 1990).

Outro ponto a ser analisado, é que com o aumento de velocidade, os problemas de produção passam a serem mais visíveis. De acordo com o a filosofia de *Just in Time*, altos estoques de materiais tendem a esconder os problemas da operação, sufocando as melhorias (SHINGO, 1988). Sem grandes estoques e com o aumento da velocidade, cada parte da

operação fica mais exposta aos problemas das outras, criando dessa forma uma estrutura de incentivo a melhorias onde cada célula da operação se preocupará em entregar sua parte com qualidade para não impactar ciclo de montagem (FERDOWS; DE MEYER, 1990).

Assim, ao considerar uma empresa fabril onde os equipamentos/máquinas que compõe estas células de operação possuem capacidade de comunicação entre si em tempo real, com tomada de decisões descentralizadas, adaptativas e virtualizadas, a vantagem da velocidade pode ser mais desenvolvida em relação a outros ambientes fabris que não possuem este nível tecnológico, certa vez que, as fragilidades no fluxo de informações por meios não digitais são maiores (e.g. perda na transferência de informação, atrasos na informação, recebimento da informação parcial e *etc.*) e podem acorrentar em falhas e atrasos no processo decisório (ANDERL, 2016). Desta maneira, para avaliar a capacidade de uma empresa digitalizada do ramo têxtil “fazer rápido” o seu processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP, o indicador a ser utilizado, será o tempo médio de uma semana para entrega de pedidos de MP.

### **2.2.3. Estratégia da Pontualidade**

A pontualidade significa cumprir os compromissos de entrega (HAYES; WHEELWRIGHT, 1984). O bom desempenho de uma linha de produção tendo a velocidade como uma vantagem competitiva aumenta a probabilidade da empresa apresentar uma pontualidade de entrega, diminuindo os tempos entre a solicitação e a entrega do pedido (FERDOWS; DE MEYER, 1990). Porém algumas empresas procuram ser competitivas prometendo tempos de entrega menores que não são factíveis, pressionando os tempos de manufatura, com impactos na qualidade do produto entregue para cumprir o prazo acordado, essa é uma prática que pode comprometer o futuro das vendas da empresa (PORTER, 1980).

Slack(1991) apresenta como um benefício externo da pontualidade, a mudança de comportamento dos consumidores, que costumava a relacioná-la a um benefício de um objetivo de desempenho qualificador, porém atualmente é tido como um ganhador de pedidos, uma vez que os consumidores passaram a ser mais exigentes em seu comportamento quanto às suas compras. Quanto a benefício interno, o principal é a estabilidade. Uma vez que o produto ou serviço é confiável, ele gera à operação uma estabilidade que permite com que as áreas operacionais foquem em melhorias ao invés de resolverem problemas diversos. Com o aumento de pontualidade a empresa pode passar a investir nas melhorias para aumento de velocidade (FERDOWS; DE MEYER, 1990).

Desta forma, o ambiente de uma I4.0 pode consolidar esta vantagem, de modo que, ao se ter as informações relevantes à produção, digitalizadas pelos sensores e arquivadas em um servidor, possibilita-se a análise e simulação desses parâmetros para a previsão de entrega de produtos e serviços aos clientes em um intervalo de tempo executável para a empresa (CHEN *et al.*, 2015). Logo, para avaliar a capacidade de uma empresa digitalizada do ramo têxtil “fazer pontualmente” o seu processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP, o indicador a ser empregado, será a média de uma semana dos pedidos de MP em atraso.

#### **2.2.4. Estratégia da Flexibilidade**

As principais razões para se ter uma maior flexibilidade que os concorrentes são relacionadas à variedade de atividades com que a manufatura deve lidar em suas operações diárias e às incertezas quanto a grandes variações de demanda (HAYES; WHEELWRIGHT, 1984). Sendo essa uma característica estratégica para a empresa uma vez que ela é construída para corresponder a possíveis mudanças de direcionamento pelo restante da organização, como promoções de vendas, descontos para obtenção de *marketshare* e maior presença nos pontos de venda para combater novos produtos e serviços da concorrência (PORTER, 1980).

Slack (1991) cita que a flexibilidade é o amortecedor da operação, sendo necessário que a manufatura seja flexível, pois ela deve administrar a operação sob condições de variedade, incertezas de longo e curto prazo e falta de conhecimento do mercado. O nível ideal de flexibilidade permite que a operação continue o seu trabalho apesar dos choques gerados interna e externamente. A flexibilidade gera melhor pontualidade, menor custo e maior velocidade. Auxiliando a empresa a lidar com problemas com entregas e capacidade de processo, que podem ser provenientes de problemas de abastecimento por um fornecedor. Os custos podem ser melhorados com a melhor utilização da tecnologia de processo, da mão-de-obra ou dos recursos materiais. A velocidade é melhorada com a entrega rápida, rápido tempo de desenvolvimento de novos produtos e serviços, ou adaptação de produtos e serviços para atender necessidades específicas.

A flexibilidade de uma operação a curto e longo prazo, depende da mesma característica de seus recursos, para se chegar a uma operação idealmente flexível, a empresa deve desenvolver, uma mão-de-obra que seja multifuncional que possa desenvolver diversas atividades, uma rede de suprimentos robusta que possa suprir problemas de abastecimento e principalmente uma tecnologia adequada as suas novas necessidades (SLACK, 1991).

Logo, o ambiente tecnológico de uma MA pode ajudar a desenvolver esta vantagem, visto que, como já dito, nesses ambientes as informações relevantes são digitalizadas e arquivadas em um servidor, fato este que permite além da previsão de entrega de produtos e serviços, a otimização dos tempos produtivos, sejam eles, os tempos por atividade, os tempos de ciclo produtivo, *lead time* ou *takt time* por meio das análises e simulações virtuais (LASI *et al.* 2014; ANDERL, 2016). Desta forma, para avaliar a capacidade de “mudar o que está sendo feito” em uma empresa digitalizada do ramo têxtil, no processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP, o indicador a ser utilizado, será o número de atividades distintas realizadas por um funcionário

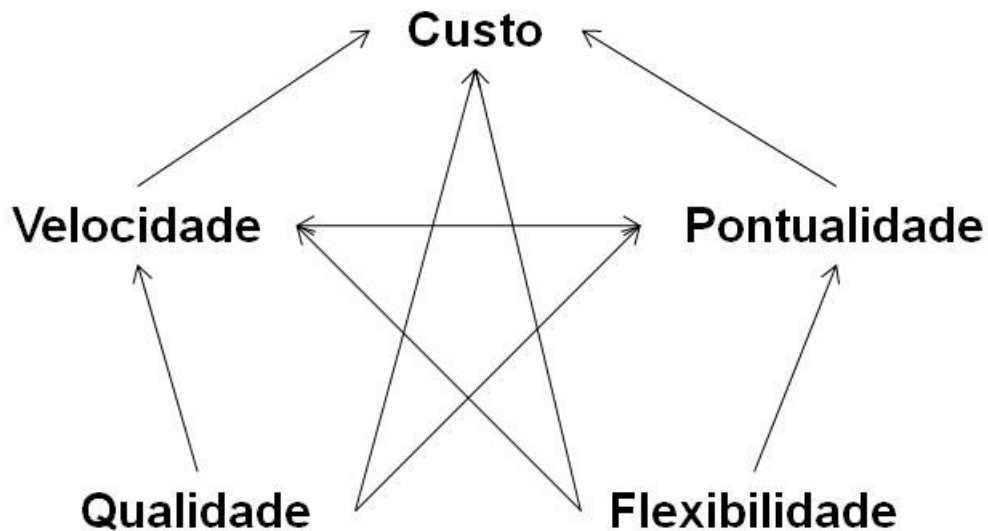
### **2.2.5. Estratégia do Custo**

O custo de produção é, normalmente, um dos principais objetivos da produção (HAYES; WHEELWRIGHT, 1984). O foco da gestão de operações na manufatura, como um todo, é a redução dos custos totais de produção (SLACK, 1991). Mesmo as empresas que concorrem no mercado, utilizando outros objetivos de desempenho para atrair seus clientes terão interesse em manter seus custos baixos. Tentar obter uma vantagem de custo não significa que a empresa estará oferecendo produtos de baixo valor ou baixa qualidade (HEIZER; RENDER, 2001).

Slack (1991) apresenta que o corte tradicional de custos em operações é concentrado em mão-de-obra direta, porém se as empresas focassem seus recursos e esforços nas estratégias que foram apresentados nas subseções anteriores, elas compreenderiam que uma produção livre de erros, um fluxo rápido, entregas internas e externas confiáveis e uma operação flexível, contribuiriam de maneira mais eficaz para a redução dos custos, evitando desperdícios e aumentando a competitividade dessa empresa.

A Figura 7 ilustra a relação entre todas as estratégias de desempenho da manufatura, mostrando que todas elas se apoiam e reforçam umas às outras, onde a melhoria de cada estratégia pode favorecer a desempenho de custo, segundo a visão de Slack (1991).

Figura 7 - As Estratégias de Competitividade Apoiam o Desempenho do Custo

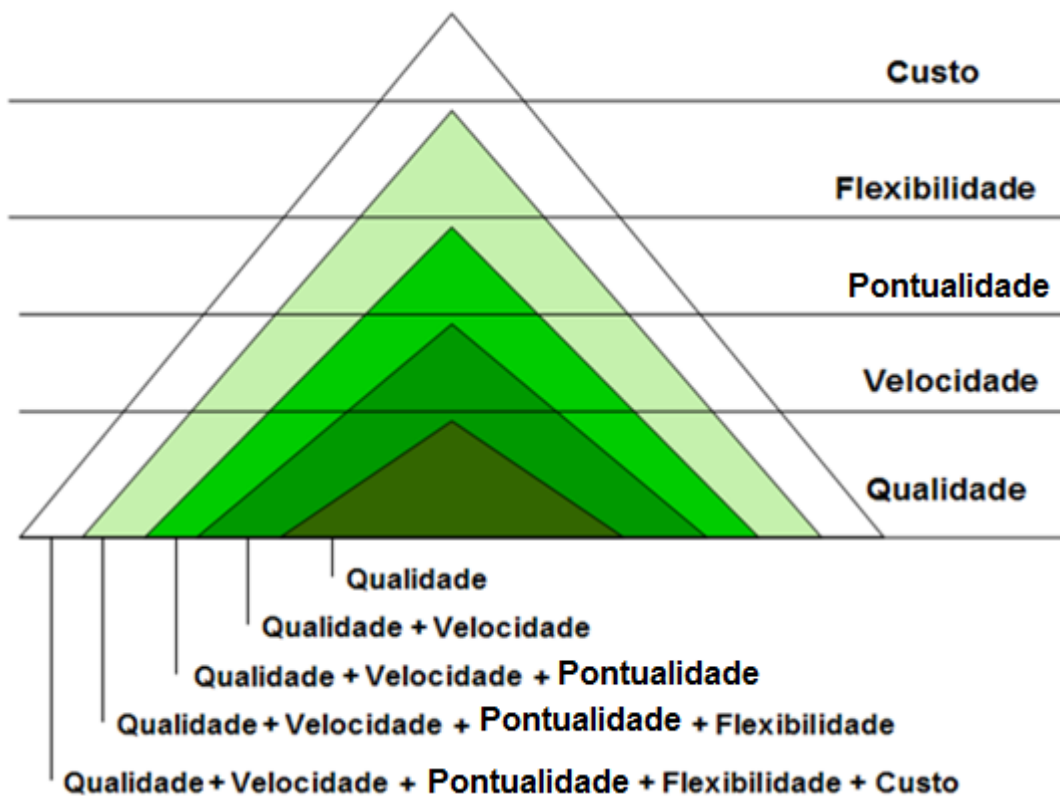


Fonte: Slack (1991).

O custo é afetado por todos os outros aspectos do desempenho operacional, Slack (1991) apresenta uma hierarquia nos desempenhos para se chegar a uma melhoria da vantagem do custo. Ele se baseia em um modelo conhecido como “Cone de Areia” ou também denominado na literatura “*Sand Cone Model*” desenvolvido por Ferdows e De Meyer (1990). Neste modelo, para se chegar ao melhoramento da manufatura, a empresa deve desenvolver as estratégias de competitividade de baixo para cima, com a precondição para o melhoramento duradouro, conforme Figura 8. Para isso, um melhor desempenho de qualidade da operação, seguindo pelo aumento de um nível crítico de pontualidade, maior velocidade da operação e adequação da flexibilidade são necessários para se ter um impacto final sobre os custos de produção.

Segundo Ferdows e De Meyer (1990) o “Modelo do Cone de Areia” foi desenvolvido com a seguinte premissa: “para se construir um cone de areia estável, deve ser criado um alicerce” e esse alicerce no modelo é a melhoria de qualidade. Após essa base estável ter sido construída, podem-se construir camadas de pontualidade, velocidade, flexibilidade e custo – porém, somente através da expansão das camadas de base do cone é possível atingir maiores alturas, ou seja, atingir maiores desempenhos da estratégia do custo dependerá do desenvolvimento conjunto de melhores desempenhos de todas as demais estratégias.

Figura 8 – “Modelo do Cone de Areia”



Fonte: Adaptado de Ferdows e De Meyer (1990) por Slack (1991).

Portanto, quando uma empresa decide migrar para um ambiente de MA, os custos de produção tendem a ser reduzidos, haja vista, que todas as demais estratégias até aqui apresentadas são beneficiadas por esta migração, onde as informações produtivas são digitalizadas, arquivadas, analisadas e simuladas, auxiliando no processo de tomada de decisões descentralizadas com uma produção mais modularizada e orientada ao serviço (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). Porém, este fato pode não ocorrer de imediato, devido ao alto custo para a aquisição das tecnologias produtivas (LASI *et al.* 2014). Desta maneira, entende-se que a vantagem do custo é conquistada ao longo prazo, tendo vista a necessidade de consolidação prévia e segura de todas as demais estratégias de base. Logo, para avaliar a capacidade de uma indústria têxtil digitalizada “fazer barato” o seu processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP, o indicador a ser usado, será o custo semanal para a execução dessas atividades.

Visto o papel que cada estratégia de competitividade possui para o êxito da manufatura no mercado e os indicadores que serão utilizados para a avaliação do seu desenvolvimento em uma empresa “real”, a próxima seção deste capítulo será dedicada à

elucidação sobre as técnicas de AV utilizadas para a criação ou melhorias de maneira eficiente de produtos, serviços e processos, com base na delimitação de suas funções e custos.

### 2.3. ANÁLISE DE VALOR (AV)

O método de AV desenvolvido por Miles (1947) parte do pressuposto de que o cliente de um produto ou um serviço só o utiliza porque este desempenha determinadas funções desejadas. Portanto, se houver algum outro produto ou serviço, que por ser totalmente diferente do primeiro, porém execute as mesmas funções a um menor preço, este pode substituí-lo, mesmo eventualmente tendo um conceito de funcionamento muito diferente do anterior. Logo, o produto ou serviço que oferecer mais benefícios (por meio de suas funções) a um menor preço, possui um maior Valor Econômico agregado (VE) que os seus concorrentes (ABRAMCZUK, 2006). Este é o critério que embasa este tipo de escolha, uma vez que Miles (1961) define o VE como uma imagem mental feita pelo cliente através de comparação com outros produtos ou serviços semelhantes no momento da aquisição.

Consequentemente, pode-se dizer que o VE se origina da relação inversamente proporcional entre a soma de todas as funções desempenhadas pelo produto ou serviço e a soma de todos os custos de aquisição ou fornecimento, conforme Equação (1):

$$\text{Valor Econômico(VE)}_{\text{Produto/Serviço}} = \sum \text{VE}_{\text{por função}} = \frac{\sum \text{Funções}}{\sum \text{Custos}} \quad (1)$$

Ademais, o VE pode ser subdividido em quatro categorias, sendo elas:

- Valor de Custo – é o montante de recursos necessário para produzir ou obter um determinado produto ou serviço, de acordo com Equação (2):

$$\text{Valor de Custo} = \sum \text{Custos} \quad (2)$$

- Valor de Uso – são as características (qualidades ou propriedades) que possibilitam o emprego do produto ou serviço, sendo possível expressá-lo através da Equação (3):

$$\text{Valor de Uso} = \sum \text{Funções de Uso} \quad (3)$$



- Valor de Estima – são características que tornam desejável a posse do produto ou serviço, sendo possível expressá-lo através da Equação (4):

$$\text{Valor de Estima} = \sum \text{Funções de Estima} \quad (4)$$

- Valor de Troca – é a medida monetária das qualidades de um produto que possibilitam sua troca por outro, sendo esta a única classificação de VE não aplicada nos casos de serviços, sendo possível expressá-lo através da Equação (5).

$$\text{Valor de Troca}(\$) = \text{Valor Pago na Troca}(\$) \quad (5)$$

Desta forma, o VE pode ser rescrito pela Equação (6):

$$\text{VE} = \frac{\text{Valor de Uso} + \text{Valor de Estima} + \text{Valor de Troca}(\$)}{\text{Valor de Custo}} \quad (6)$$

Ou ainda no formato da equação (7):

$$\text{VE} = \frac{\sum \text{Funções Uso} + \sum \text{Funções Estima} + \text{Valor Pago na Troca}(\$)}{\sum \text{Custos}} \quad (7)$$

Logo pode-se dizer que o VE de um produto é dado pela Equação (8), enquanto o VE de um serviço é dado pela Equação (9):

$$\text{VE}_{\text{Produto}} = \frac{\sum \text{Funções Uso} + \sum \text{Funções Estima} + \text{Valor Pago na Troca}(\$)}{\sum \text{Custos}} \quad (8)$$

$$\text{VE}_{\text{Serviço}} = \frac{\sum \text{Funções Uso} + \sum \text{Funções Estima}}{\sum \text{Custos}} \quad (9)$$

Pode-se ainda analisar o VE sob a ótica do produtor/provedor do produto ou serviço de acordo com a Equação (10):

$$VE_{\text{Produtor}}(\$) = \frac{\sum \text{Funções Uso Oferecidas} + \sum \text{Funções Estima Oferecidas} + \text{Valor Oferecido na Troca}(\$)}{\sum \text{Custos}} \quad (10)$$

Ou sob a ótica do cliente/usuário, porém agora expressa na forma da Equação (11):

$$VE_{\text{Cliente}} = \frac{\sum \text{Funções Uso Adquiridas} + \sum \text{Funções Estima Adquiridas} + \text{Valor Percebido na Troca}(\$)}{\sum \text{Preço}} \quad (11)$$

Logo, sabe-se que o lucro é obtido a partir da Equação (12):

$$\text{Lucro} = \text{Preço} - \text{Custo} \quad (12)$$

E que para um provedor/produtor manter o seu produto ou serviço no mercado, a seguinte relação deve ser mantida, de acordo com a Equação (13):

$$\frac{VE_{\text{Produtor}}}{VE_{\text{Cliente}}} > \frac{VE_{\text{Concorrente}}}{VE_{\text{Cliente}}} \quad (13)$$

Desta forma, segundo Csillag (1995) cinco táticas pode ser traçadas com base em alterações nas funções e nos custos para que o produtor iguale ou supere a percepção do VE de produtos e serviços concorrentes, sendo elas:

1. Melhoria no desempenho das funções;
2. Redução nos custos;
3. Grande melhoria no desempenho das funções acompanhada de um aumento nos custos;
4. Piora no desempenho das funções acompanhado de uma grande redução nos custos;
5. Melhoria no desempenho das funções acompanhada da redução de custos.

Além disso, segundo Csillag (1995) a metodologia de Miles (1947) utiliza quatro abordagens básicas para avaliação e alteração do VE de produtos e serviços perante o consumidor:

- Análise funcional – através da qual os produtos são subdivididos em componentes ou subsistemas, que tem sua função analisada e determinada;

- Técnicas de geração de ideias – para que se possam surgir novas e melhores soluções;
- Análise multidisciplinar – para que especialistas de diferentes áreas possam contribuir com o processo de melhoria dos produtos e serviços;
- Técnicas de contorno dos bloqueios mentais – para que novas soluções possam ser analisadas e melhoradas.

Csillag (1995) ainda destaca a existência de diversos planos de trabalhos para implementação e gerenciamento da metodologia de AV seguindo estas abordagens básicas, sendo citados trinta e três exemplos em seu livro, os quais variam de acordo com os objetos de estudo analisados (e.g. planos para peças e produtos, planos para processos e serviços, planos para energias, planos para construções civis e instalações, planos para área comercial, planos para desenvolvimento organizacional e planos para implantações de grandes sistemas e *etc.*).

Segundo Csillag (1995), apesar da flexibilidade quanto à aplicação da metodologia a diferentes objetos de estudo, os planos de trabalhos possuem em geral três etapas em comum:

- 1ª etapa: o problema é definido e as informações são coletadas;
- 2ª etapa: são geradas as alternativas de solução;
- 3ª etapa: algumas alternativas são selecionadas para implementação.

Logo, independentemente do plano de trabalho considerado, todos orbitam em torno de uma alternância de etapas em que se aplicam técnicas e ferramentas que auxiliam desde a identificação do problema, a coleta de informações pertinentes, passando pela geração de alternativas até a fase de escolha de alguma dessas para implementação. Desta forma, é o emprego correto dessas ferramentas e técnicas que irá determinar o sucesso ou não do projeto em AV (CSILLAG, 1995).

Assim, o presente trabalho seguirá a estrutura de plano de trabalho indicada por Csillag (1995), uma vez que esta traz uma abordagem universalizada da metodologia em questão, sendo aplicáveis aos mais diversos objetos de estudo, incluindo o objeto de interesse desta pesquisa, o plano para a composição tecnológica de uma I4.0 orientado as estratégias de competitividade. Desta forma, as próximas subseções tratarão de apresentar distinção da metodologia em relação aos outros métodos de avaliação de Valor de produtos e serviços e as ferramentas específicas a serem utilizadas no desenvolvimento, análise e aplicação do modelo proposto.

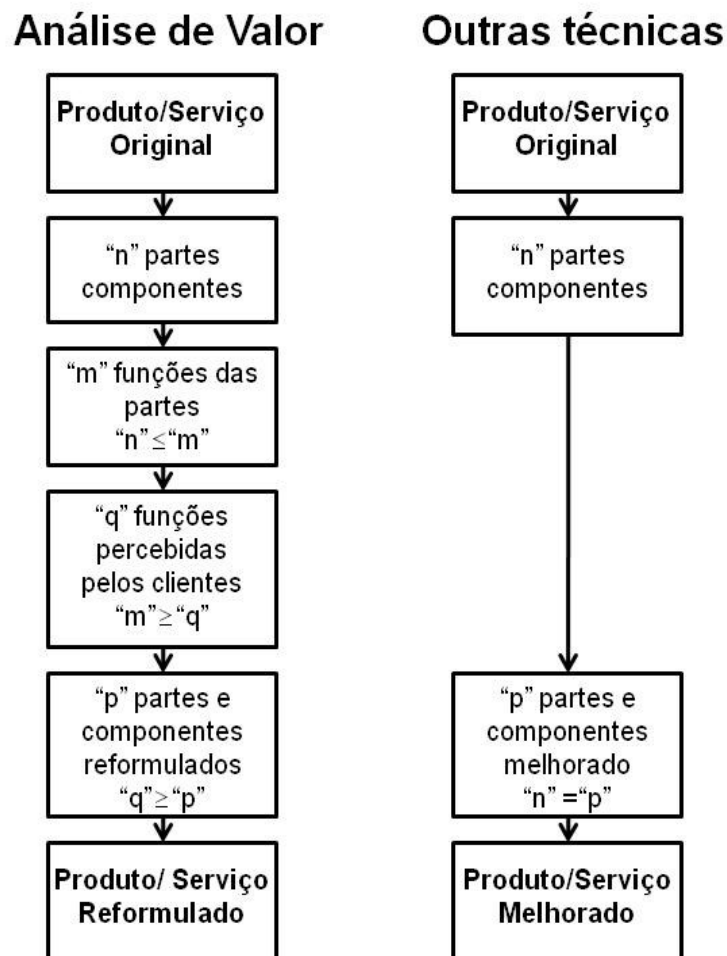
### 2.3.1. Distinção da Análise de Valor em relação a outros métodos de Avaliação de Valor

Além da definição do conceito de VE, a metodologia de AV descrita por Miles (1947) se distingue de outros métodos de avaliação de valor como: Reengenharia, Engenharia Simultânea e Engenharia Reversa, pois estes estão voltados à análise da concepção de peças, componentes ou subsistemas dos produtos e serviços, o que implica em concentrar a atenção e os custos aumentando tolerâncias de fabricação, reduzindo de espessuras de materiais, alterando *layout* do espaço físico, um elenco de medidas que certamente vão contribuir para a redução dos custos e uma possível melhoria no projeto, sem, contudo, alterar sua concepção original, ou seja, sem alterar as funções (DE ABREU, 1995).

Por outro lado, ao concentrar-se nos requisitos funcionais que realmente precisam ser atendidos, AV rompe o compromisso com a solução escolhida pelo projetista original, atuando não apenas sobre o custo, mas, principalmente, sobre o VE do produto ao reformular sua concepção (MILES, 1961). Desta forma, esta metodologia se diferencia das demais técnicas por obterem produtos e serviços reformulados ao passo que, em outros métodos será possível obter apenas produtos e serviços melhorados, conforme Figura 9 (DE ABREU, 1995).

Deste modo, entende-se que o caminho mais lógico para se responder à pergunta de pesquisa proposta neste trabalho, acaba sendo através da análise dos requisitos funcionais que as tecnologias da Quarta Revolução Industrial devem apresentar para as empresas, de acordo com as estratégias competitivas praticadas por elas, ao invés de se buscar realizar esta conexão através da análise de concepção de peças, componentes, subsistemas e/ou produtos que compõe essas inovações. Pois, no segundo caso, a mensuração da serventia que determinada aquisição tecnologia apresenta para uma dada estratégia adotada, se torna impossível, ao passo que, através deste e outros métodos de avaliação de Valor, não se determina o propósito de utilidade que cada peça, componente, subsistema e/ou produto apresenta para o cliente, mas sim outros requisitos de fabricação para as partes ou produto como um todo. Consequentemente, descarta-se a utilização dos métodos de Reengenharia, Engenharia Simultânea e Engenharia Reversa nesta pesquisa.

Figura 9 - Diferenças entre Análise de Valor e Demais Métodos de Avaliação de Valor



Fonte: Adaptado de De Abreu (1995).

Visto a importância que a análise funcional desempenha dentro da metodologia de AV de Miles (1947) e o motivo prévio de sua escolha como instrumento de intervenção, as próximas subseções tratarão do processo de identificação, agrupamento, classificação e mensuração das funções, inclusive apresentando as ferramentas e técnicas exclusivas da metodologia e seus respectivos propósitos de utilização no trabalho, certa vez que como não poderia deixar de ser diferente, a base da análise funcional é a própria descrição conveniente das funções dos produtos e serviços a serem estudado.

### 2.3.2. Identificação de uma Função

Miles (1961) define o conceito de função como uma representação da finalidade ou do motivo de existência do produto ou serviço ou parte dele. Já Gage (1967) afirma que a função é uma característica do produto ou serviço de serventia a um propósito útil e atende a uma necessidade real do cliente. Enquanto Pinton (1989) a define com o exercício de atividades ou

tarefas que um produto ou serviço executa. Sendo assim, para que haja uma maior eficiência na análise funcional de produtos ou serviços, as funções devem ser definidas apenas por um verbo, representante da ação desempenhada pelo componente estudado, e um substantivo, que é o objeto que recebe a ação correspondente ao verbo (CSILLAG, 1995). Caso não se consiga estipular todas as funções desta forma, segundo Fallon (1980) será necessário uma maior compreensão sobre o produto ou serviço estudado, buscando sua descrição com base em peças, mecanismos, organismos ou processos que os compõe, focalizando tanto nas partes como sua operação em um todo, através da caracterização dos seguintes parâmetros:

- Dimensões Físicas;
- Proporções relativas (entre as partes componentes);
- Formas;
- Materiais empregados;
- Acabamentos superficiais;
- Conexões e relações entre as partes; e
- Ações realizadas e princípios de funcionamento.

Além de definir esses parâmetros, a definição das funções, segundo Younker (2003) deve ser o mais abrangente possível, de forma que esta já não indique possíveis soluções para si mesmo em sua definição. Para isso, Bytheway (1965) estabeleceu uma técnica que permite a definição e integração lógica das funções de produtos e serviços com base na resposta de três perguntas sobre elas: “Por quê?” “Como?” e “Quando?”. A partir desta constatação o autor desenvolveu um diagrama e forma de “árvore funcional” conhecido como *Function Analysis System Technique (FAST)*, sendo este apresentado na subseção a seguir.

#### 2.3.2.1. Diagrama *FAST*

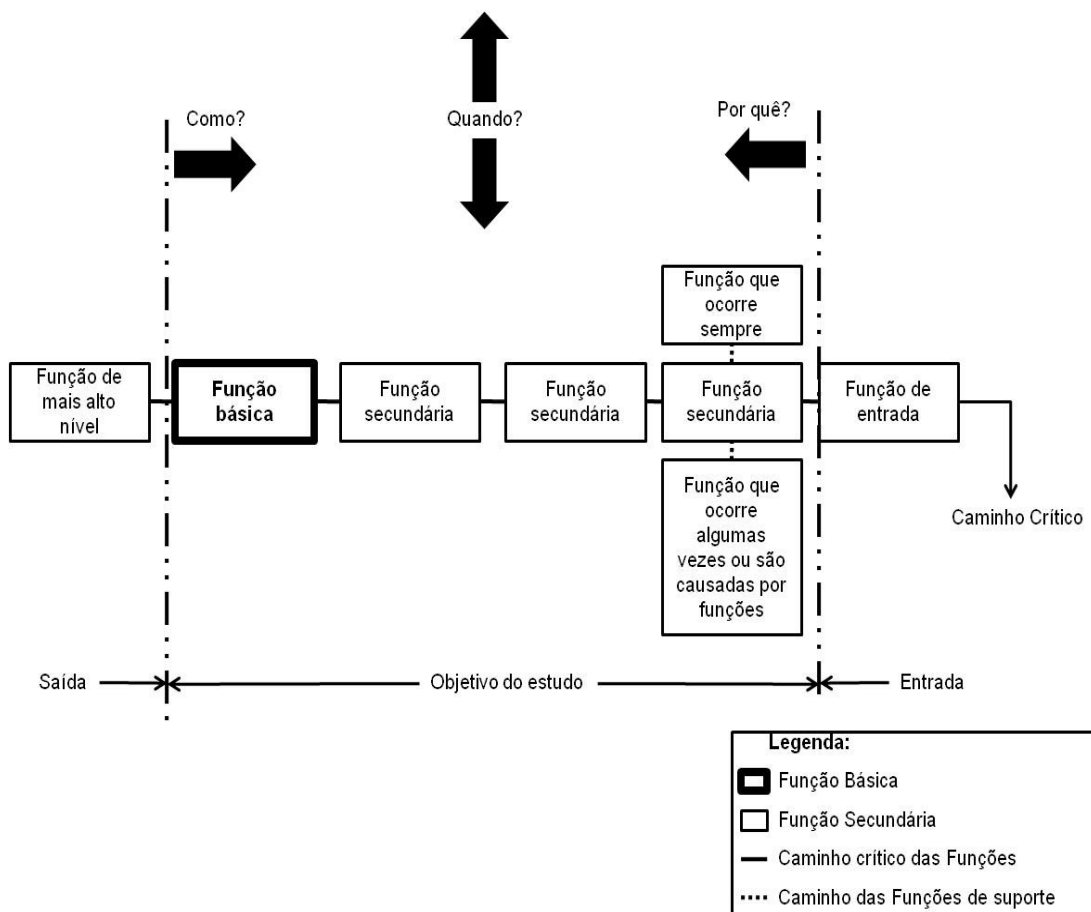
O Diagrama *FAST* foi desenvolvido por Charles Wilford Bytheway membro e especialista em valor certificado pela *Society of American Value Engineering - SAVE* e com uma vasta experiência em projetos de AV tanto para fins civis como militares, a exemplo, os sistemas de aquecimento e de condicionadores de ar para a empresa *Lennox Industrie Company* e o sistema de disparo das metralhadoras rotativas M134 calibre 7,62x51mm desenvolvida pela *Sperry Rand Corporation* para o exército norte-americano durante a guerra do Vietnam (BYTHEWAY, 2007). Além disso, foi o primeiro membro da *SAVE* a receber o prêmio Lawrence Delos Miles pelo desenvolvimento desta técnica, aparecendo pela primeira

vez no artigo “*Basic Function Determination Technique*”, na conferência de 1965 da *SAVE* em Chicago (BYTHEWAY, 1965).

Conforme introduzido anteriormente o Diagrama *FAST* consiste em um diagrama de “árvore funcional”, ou seja, define e organiza as funções de maneira lógica para representar o funcionamento de um determinado produto ou serviço, respondendo as seguintes perguntas entre essas funções: “Por quê?”, “Como?” e “Quando?”, ilustrados na Figura 10 (BYTHEWAY, 2007).

Para Bytheway (1965) à medida que se vai construindo a “árvore funcional”, as perguntas “Por quê?”, “Como?” e “Quando?”, são respondidas pelas próprias funções, ou seja, uma função que foi colocada ao lado direito de outra no diagrama, significa que essa função representa “Como?” a função anterior ocorre, logo está é uma função de ordem inferior a anterior. A função imediatamente à esquerda ou de ordem superior representa o “Por quê?” da ocorrência da função posterior. Para as funções colocadas acima ou abaixo de forma paralela umas das outras representam “Quando?” as funções ocorrem, ou seja, funções de mesma ordem.

Figura 10 - Regras para Estabelecimento da Lógica entre as Funções no Diagrama *FAST*



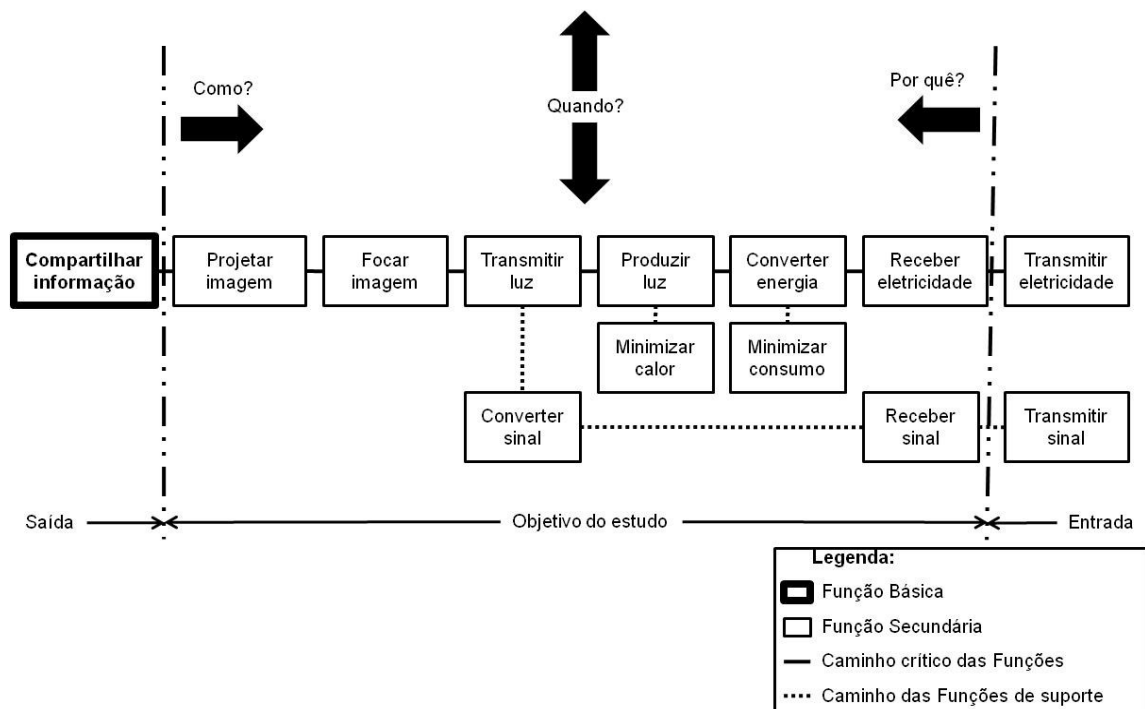
Fonte: Adaptado de Bytheway (2007).

Desta forma, elencar uma cadeia lógica de funções que representam a essência do funcionamento do produto ou serviço analisado se torna possível, sendo esta cadeia conhecida na literatura como o “caminho crítico” e as demais funções que não compõe essa cadeia representam funções de apoio ou suporte para o funcionamento do objeto de estudo (BYTHEWAY, 2007). Já para Maramaldo (1983) o “caminho crítico” tem por objetivo representar a sequência de funções secundárias necessárias (incluindo as funções de entrada) para que as funções básicas (conceito a ser apresentado na subseção 2.3.3) do produto ou serviço aconteçam.

Para saber se uma determinada função compõe o “caminho crítico” no diagrama, basta alterar sua definição, se esta alteração implicar em modificações em outras funções a sua volta para expressar o bom funcionamento do produto ou serviço estudado, significará que esta função compõe o “caminho crítico”, caso contrário ela será componente do “caminho de suporte” ou “caminho de apoio” (BYTHEWAY, 2007).

Logo, para ilustrar o diagrama *FAST* e este conceito de “caminho crítico”, a Figura 11 traz um exemplo de identificação das funções de um produto conhecido como “monitor de vídeo” por meio desta ferramenta, e será apresentado neste documento para fins de ilustração das técnicas e ferramentas de AV no decorrer desta e das próximas subseções deste capítulo.

Figura 11 - Exemplo de Aplicação do Diagrama *FAST*



Fonte: Adaptado de Pereira Filho (1994).



Para Bytheway (1965) este processo de construção de uma “árvore funcional” de um produto ou serviço já concebido requer atenção, reflexão lógica e intuitiva e respeitando as regras para seu estabelecimento é possível construir novas soluções inovadoras a partir de funções ainda não testadas. Desta maneira, esta técnica representa o primeiro passo para AV e será utilizada no trabalho para elencar as funções que representam as tecnologias de estruturação de I4.0, embora o objetivo aqui não esteja em buscar novas soluções para os produtos que representam essas tecnologias, a reflexão lógica que esta ferramenta proporciona é a base para o passo inicial da análise funcional do *portfólio* tecnológico atual de MA disponível para as empresas, além de possibilitar uma visão sistêmica dessas funções em um ambiente de manufatura 4.0 (i.e. um *CPPS*).

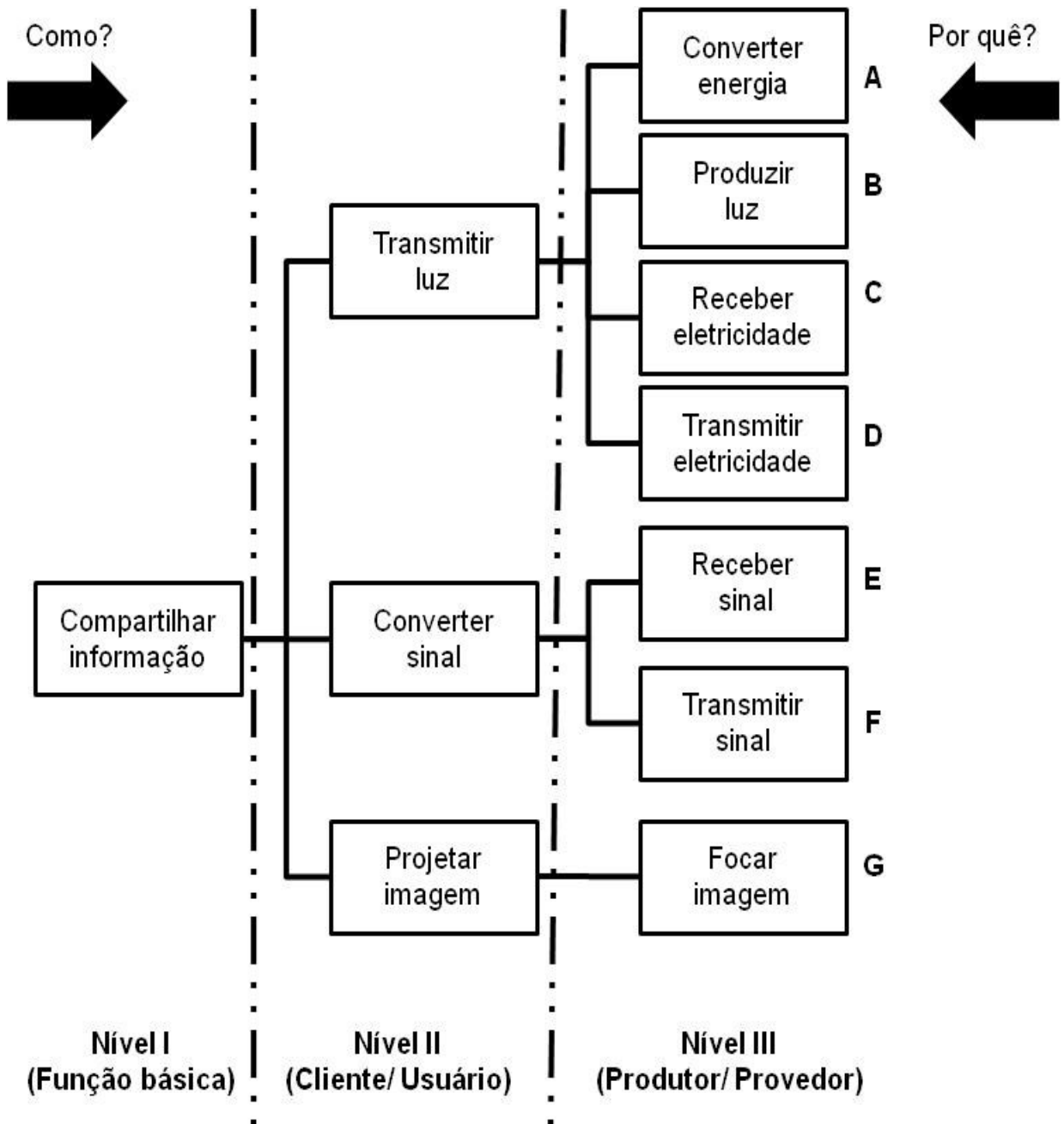
#### 2.3.2.2. Estrutura Analítica de Funções/Agrupamento *FAST*

Uma vez elencada as funções que representam os produtos e serviços analisados, o próximo passo na AV consiste em identificar quais dessas funções são de notoriedade para o público de interesse desta análise, ou seja, os clientes/usuários ou produtores/provedores dos produtos e serviços. Para isso, a estrutura analítica de funções ou agrupamento *FAST* é utilizada para uma análise lógica sobre a *performace* de cada função, sendo esta ferramenta uma evolução prática do diagrama *FAST* proposta por Theodore C. Fowler e Thomas Joseph Snodgrass através do artigo “*Customer oriented FAST diagramming*” na conferência de 1972 da SAVE em Atlanta (FOWLER; SNODGRASS, 1972).

A estrutura de Fowler e Snodgrass (1972) possibilita agrupar as funções em três níveis, sendo o primeiro destinado as funções básicas, as quais representam a essência da existência do produto ou serviço, o segundo nível é disposto às funções de notoriedade para os clientes/usuários e o terceiro e último nível são alocadas as funções de importância para o produtor/provedor. Desta forma, as funções que se encontram em nível superior devem responder à pergunta “Por quê?” as funções que se encontram em um nível inferior e consequentemente as funções em nível inferior deve responder a pergunta “Como?” as funções de um nível superior (MARAMALDO, 1983; PEREIRA FILHO, 1994).

A Figura 12 apresenta um exemplo de agrupamento *FAST* para o produto “monitor de vídeo”.

Figura 12 - Exemplo de Aplicação do Agrupamento FAST



Fonte: Adaptado de Pereira Filho (1994).

Assim, neste trabalho, esta ferramenta será utilizada para identificar quais das funções elencadas para as tecnologias são de relevantes para as empresas de manufatura, ou seja, as funções que representam o “Como?” a função básica de cada uma dessas tecnologias ocorre, ou que representam o “Por quê?” da existência das funções notórias para os produtores destes equipamentos tecnológicos.

### 2.3.3. Classificação de uma Função

Uma vez identificadas e agrupadas às funções desempenhadas pelo produto ou serviço o passo seguinte da AV consiste na classificação das mesmas (CSILLAG, 1995).

Segundo Maramaldo (1983), Miles *et al.* (1984), Pinton (1989), Basso (1991), Pereira Filho (1994), Csillag (1995), De Abreu (1995) e Abramczuk (2006), as funções podem ser classificadas segundo três enfoques:

- Funções básicas e secundárias ou funções identificadoras e agregadas;
- Funções de uso e de estima; e
- Funções relevantes ou notórias, irrelevantes e indesejáveis.

As funções básicas ou identificadoras consistem na razão de ser do produto ou serviço, sem a qual estes estariam descaracterizados e perderiam o seu valor ou utilidade para o usuário (PEREIRA FILHO, 1994). Já Basso (1991) as descreve como a representação do motivo que leva o usuário a pagar pelo produto ou serviço. Assim, função identificadora de um monitor de vídeo é “compartilhar informação”, a de uma geladeira é “conservar alimentos”, a de um automóvel pode ser “transportar massa (pessoas ou carga)”, enquanto que a de um relógio, sua função identificadora é “marcar o tempo”.

As funções secundárias ou agregadas são aquelas que possibilitam o desempenho da função identificadora ou ainda que auxiliem na venda do produto ou serviço (DE ABREU, 1995). No caso do relógio, este pode ter um calendário com a função agregada de “indicar a data” e um cronômetro que realiza a função agregada de “medir períodos”. Desta maneira, para um determinado tipo de usuário, estas funções agregadas são desejadas num relógio e o fazem decidir pela compra do produto.

Algumas funções secundárias estão relacionadas com a operação do produto ou serviço, possibilitando tanto a função identificadora como outras agregadas de apoio (PEREIRA FILHO, 1994). Funções como “mover ponteiros” ou “fornecer energia” presentes em um relógio são funções agregadas. Algumas funções agregadas podem contribuir para o desempenho de outras funções agregadas, por sua vez, levam à realização da função identificadora. Além disso, um produto ou serviço pode ter mais de uma função identificadora (DE ABREU, 1995). Por exemplo, quem adquire um relógio de ouro certamente está procurando algo mais que a função identificadora de “marcar o tempo”. Boa parte do dinheiro pago por um relógio de ouro está relacionada com a função “indicar status”, que também é uma função identificadora deste produto.

Já as funções de uso possibilitam o funcionamento do produto e são definidas por verbos e substantivos mensuráveis (CSILLAG, 1995). Enquanto as funções de estima estão relacionadas à vontade do usuário em possuir o produto e são definidas por verbos e substantivos não mensuráveis (CSILLAG, 1995). O Quadro 1 traz exemplos de verbos e substantivos para funções de uso e de estima.

Quadro 1 - Exemplos de Verbos, Substantivos e Unidades de Medida para Funções de Uso e Estima

| <b>Função de Uso</b>    |                    |                                |
|-------------------------|--------------------|--------------------------------|
| <b>Verbo</b>            | <b>Substantivo</b> | <b>Unidade de Medida</b>       |
| Conduzir                | Corrente           | Ampère (A)                     |
| Fornecer                | Energia            | Quilowatt-hora (Kwh)           |
| Suportar                | Força              | Quilograma-Força (Kgf)         |
| Autorizar               | Pagamento          | Reais (R\$)                    |
| Elaborar                | Prato              | Horas (H)                      |
| Diminuir                | Ruído              | Decibel (dB)                   |
| Amortecer               | Vibração           | Hertz (Hz)                     |
| Medir                   | Calor              | Graus Celsius (°C)             |
| Transmitir              | Torque             | Quilograma-Força metro (Kgf.m) |
| <b>Função de Estima</b> |                    |                                |
| <b>Verbo</b>            | <b>Substantivo</b> |                                |
| Indicar                 | Status             |                                |
| Melhorar                | Aparência          |                                |
| Criar                   | Exclusividade      |                                |

Fonte: Adaptado de Csillag (1995).

Já a classificação de funções relevantes ou notórias são aquelas que o usuário quer encontrar desempenhadas pelo produto ou serviço (DE ABREU, 1995). No caso de um forno elétrico de cozinha, as funções “aquecer alimento”, “indicar temperatura”, “indicar tempo”, “desligar forno”, “soar alarme” e “permitir programação” são funções procuradas pelo usuário ao qual o se destina o produto e, portanto, são funções relevantes.

As funções irrelevantes existem somente para que funções relevantes possam ser realizadas, ou seja, aparecem apenas para dar suporte à realização das funções relevantes, dependendo, obviamente, da maneira ou método escolhido pelo fabricante ou fornecedor do produto ou serviço para desempenhar as funções relevantes (DE ABREU, 1995). Assim sendo, um forno elétrico que tenha um “timer” mecânico precisa desempenhar as funções relevantes “indicar tempo” e “soar o alarme”. Neste caso as funções como “girar ponteiro”, “armazenar energia” e “destravar campainha” são funções irrelevantes que tornam possíveis

funções relevantes através da configuração específica escolhida. Caso o forno possua um “timer” eletrônico, outras funções irrelevantes serão desempenhadas: “isolar fios”, “fornecer energia” e “armazenar dados”.

As funções irrelevantes também estão relacionadas com o processo de fabricação ou fornecimento (BASSO, 1991). Furos de centro, por exemplo, normalmente não exercem função no produto acabado, mas foram importantes na sua fabricação (peças usinadas em um torno). Outro exemplo são ganchos encontrados nos para-choques dianteiros e traseiros de diversos automóveis sem função para o usuário final, mas necessários para transportar o automóvel na linha de montagem da fábrica.

O consumidor não paga diretamente pelas funções irrelevantes. Se as funções irrelevantes puderem ser substituídas por outras que levem às mesmas funções relevantes o consumidor não dará grande importância (BASSO, 1991).

Por último as funções indesejáveis têm o sentido oposto das relevantes, ou seja, são aquelas que o usuário percebe e não deseja no produto ou serviço (PEREIRA FILHO, 1994). Logicamente, as funções relevantes devem ser priorizadas e a preocupação com a redução das funções indesejáveis deve ser constante (BASSO, 1991).

Segundo Basso (1991), esta classificação permite redefinir os produtos e serviços para uma nova necessidade de forma consciente e objetiva. Já Abreu (1995) afirma que este processo de rotulação permite uma melhor compreensão do senso que cliente, usuários, produtores e provedores possuem sobre o produto ou serviço em sua configuração atual. Desta forma, o motivo de utilização desta classificação neste trabalho será a identificação da percepção que as empresas de manufatura possuem sobre as tecnologias fabris da Quarta Revolução Industrial e suas respectivas funções.

#### **2.3.4. Mensuração do Desempenho de uma Função**

Com a identificação, agrupamento e a classificação das funções realizadas, o último passo da AV consiste na mensuração do desempenho das funções, onde segundo Pereira Filho (1994) uma função pode ter sua performance estimada com base na Equação (14):

$$\text{Desempenho da Função} = \text{Grau de Satisfação(GS)} \times \text{Grau de Importância(GI)} \quad (14)$$

Onde o Grau de Satisfação (GS) é uma representação percentual do contentamento do cliente ou provedor frente à função desempenhada pelo produto ou serviço, sendo este obtido por meio de comparação com experiências passadas em relação ao desempenho apresentado

por esta função (PEREIRA FILHO, 1994). Desta forma, devido às inviabilidades de determinação do GS nesta pesquisa, conforme exposto na seção 1.5, se assumirá que o seu valor é máximo, o que significa que todas as funções analisadas partirão da premissa de satisfação plena do usuário.

Já o Grau de Importância (GI) é uma representação percentual da notoriedade que uma determinada função apresenta para o cliente ou provedor frente às demais funções que compõe o produto ou serviço (PEREIRA FILHO, 1994). Para sua determinação não é necessário de uma referência anterior e nem de uma experiência prévia, pois o GI é obtido através de uma avaliação de um sentimento de perda da função e o transtorno causado por essa perda. Por este motivo, esta variável será obtida neste trabalho através de uma avaliação comparativa entre as funções que compõe cada tecnologia e são notórias para empresas de manufatura.

Nesta avaliação o processo de escolha é realizado entre a função selecionada e uma segunda função para fins de comparação (PEREIRA FILHO, 1994). Logo, para se realizar tal comparação, um diagrama específico é elaborado para fins de se obter uma hierarquização da relevância de todas as funções representantes do produto ou serviço, sendo esta técnica conhecida como diagrama de Mudge e apresentada na subseção a seguir.

#### 2.3.4.1. Avaliação Numérica Funcional/Diagrama de Mudge

Conforme já introduzido a avaliação numérica funcional ou diagrama de Mudge consiste em uma técnica que permite a comparação de funções duas a duas, com o objetivo de ordená-las por relevância para o cliente ou provedor (DE ABREU, 1995). Seu criador foi Arthur Edward Mudge membro e especialista em valor certificado pela *SAVE*, vice-presidente e responsável pelo programa de AV na *Joy Manufacturing Company*, durante as décadas de 1960 a 1980, sendo esta empresa uma multinacional fabricante de equipamento de mineração, e sua definição ocorreu pela primeira vez em 1968 na publicação do artigo “*Numerical Evaluation of Functional Relationships*” (MUDGE, 1968) e posteriormente em seu livro “*Value Engineering: a Systematic Approach*” em 1971 (MUDGE, 1971).

Para elaboração de tal diagrama, aconselha-se denominar as funções por letras ordenadas e atribuir uma escala Likert de um a cinco para a comparação entre duas funções, conforme a diferença de relevância entre elas, onde:

- Peso 1 – função ligeiramente mais importante que a outra (na comparação); ou
- Peso 2 – função intermediária entre ser ligeiramente mais importante e a certamente mais importante que a outra (na comparação); ou
- Peso 3 – função certamente mais importante que a outra (na comparação); ou
- Peso 4 – função intermediária entre a certamente mais importante e a muito mais importante que a outra (na comparação);
- Peso 5 – função muito mais importante que a outra (na comparação).

Esse processo de comparação e avaliação é desenvolvido até que todas as funções tenham sido individualmente comparadas e avaliadas com todas as outras funções relacionadas. A avaliação será completada somando-se as relevâncias para cada função, presentes nas linhas e colunas do diagrama e preenchendo-se o valor na coluna de peso da função (PEREIRA FILHO, 1994). A Figura 13 apresenta o exemplo do diagrama de Mudge do produto “monitor de vídeo”.

Figura 13 - Exemplo de Diagrama de Mudge

| A | B   | C   | D   | E   | F   | G            | Peso      | GI             |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----------|----------------|
| A | A 3 | A 3 | A 1 | A 1 | A 5 | A 3          | 16        | 27,59%         |
|   | B   | C 1 | D 3 | E 3 | B 5 | G 3          | 5         | 8,62%          |
|   |     | C   | D 1 | E 1 | C 3 | C 3          | 7         | 12,07%         |
|   |     |     | D   | D 1 | D 5 | D 1          | 11        | 18,96%         |
|   |     |     |     | E   | E 5 | E 3          | 12        | 20,68%         |
|   |     |     |     |     | F   | G 4          | 0         | 0,01%          |
|   |     |     |     |     |     | G            | 7         | 12,07%         |
|   |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | <b>58</b> | <b>100,00%</b> |

Fonte: Adaptado de Pereira Filho (1994).

Para a averiguação da consistência do resultado obtido é possível realizar um comparativo entre os valores presentes nas linhas e colunas com o somatório total em busca de incoerências entre as relações de relevância de cada função analisada (PEREIRA FILHO, 1994).

Como resultado final, obtém-se o percentual do GI para cada função, sabendo que quanto mais próximo o percentual é de 100% maior é a relevância da função é para o cliente ou provedor e quanto mais próximo o percentual é de 0% mais irrelevante a função é para o cliente ou provedor, embora como já afirmado anteriormente, uma função classificada com

irrelevante não significa que esta seja desnecessária para o funcionamento ou produção/fornecimento do produto ou serviço (CSILLAG, 1995).

Deste modo, como diagrama de Mudge se apresenta como uma ferramenta capaz de transformar os parâmetros qualitativos (i.e. funções de produtos e serviços) em parâmetros quantitativos graduáveis (i.e. grau de importância de determinada função em relação à percepção do cliente), este será utilizado no trabalho em dois momentos. O primeiro, durante a construção do modelo (capítulo 4), com a finalidade de hierarquização das funções de cada tecnologia frente ao desenvolvimento de determinada estratégia competitiva almejada pela empresa e o segundo, durante a aplicação do modelo (capítulo 6), com a finalidade de graduar as funções do processo analisado para na sequência calcular-se o VE agregado a elas, antes e depois da digitalização desse processo.

### 2.3.5. Matriz de Custo por Funções

Conhecendo as informações de custos/preços por peças, componentes e atividades (no caso de serviços) e composição de cada um deles na execução das funções é possível se calcular os custos/preços por função do produto ou serviço analisando (PINTON, 1989; BASO, 1991; PEREIRA FILHO, 1994; ABRAMCZUK, 2006).

A tabela apresenta um exemplo de matriz de custos por funções para o produto “Monitor de Vídeo”.

Tabela 1 - Exemplo de Matriz de Custos por Função

| Código       | Funções<br>(Verbo+Substantivo) | Carcaça      |              | Placas        |               |               |               | Total         |                |
|--------------|--------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
|              |                                | R\$          | %            | R\$           | %             | R\$           | %             | R\$           | %              |
| A            | Converter energia              | 0,00         | 0,00%        | 45,00         | 5,51%         | 35,00         | 4,29%         | <b>80,00</b>  | <b>9,80%</b>   |
| B            | Produzir luz                   | 0,00         | 0,00%        | 12,00         | 1,47%         | 76,00         | 9,31%         | <b>88,00</b>  | <b>10,78%</b>  |
| C            | Receber eletricidade           | 2,00         | 0,25%        | 30,00         | 3,68%         | 10,00         | 1,23%         | <b>42,00</b>  | <b>5,15%</b>   |
| D            | Transmitir eletricidade        | 6,00         | 0,74%        | 30,00         | 3,68%         | 0,00          | 0,00%         | <b>36,00</b>  | <b>4,41%</b>   |
| E            | Receber sinal                  | 10,00        | 1,23%        | 60,00         | 7,35%         | 80,00         | 9,80%         | <b>150,00</b> | <b>18,38%</b>  |
| F            | Transmitir sinal               | 0,00         | 0,00%        | 50,00         | 6,13%         | 120,00        | 14,71%        | <b>170,00</b> | <b>20,83%</b>  |
| G            | Focar imagem                   | 20,00        | 2,45%        | 30,00         | 3,68%         | 200,00        | 24,51%        | <b>250,00</b> | <b>30,64%</b>  |
| <b>Total</b> |                                | <b>38,00</b> | <b>4,66%</b> | <b>257,00</b> | <b>31,50%</b> | <b>521,00</b> | <b>63,85%</b> | <b>816,00</b> | <b>100,00%</b> |

Fonte: Adaptado de Pereira Filho (1994).



Uma vez identificado o custo por função e mensurado o desempenho das mesmas, pode-se obter o VE por função, com base na equação 1, ou seja, dividido o valor percentual de performance de cada função pelo valor percentual de seus custos ou preços (PINTON, 1989; BASSO, 1991; PEREIRA FILHO, 1994).

Assim, neste trabalho esta ferramenta será utilizada, durante a aplicação do modelo (capítulo 6), como parte do cálculo do VE agregado as funções do processo analisado, antes e depois de sua digitalização.

### 2.3.6. Análise do Valor Econômico Agregado as Funções

Segundo Abramczuk (2006) o VE agregado de uma função é o número de natureza adimensional resultante entre a comparação do seu valor percentual de desempenho em relação ao seu valor percentual de custo/preço (vide equação 1). A partir dele é possível se tirar conclusões sobre a proporcionalidade da importância e satisfação do cliente de um produto ou serviço em relação ao que se paga por ele, sobre a ótica funcional.

Segundo Pereira Filho (1994), interpretação do resultado numérico do VE agregado a função é feita baseada, no Quadro 2:

Quadro 2 - Avaliação do Valor Econômico das Funções

| <b>Valor Econômico</b> | <b>Desempenho da Função</b> |
|------------------------|-----------------------------|
| VE (%) >1,1            | Função com valor ótimo      |
| 0,9 < VE (%) < 1,1     | Função com valor adequado   |
| VE (%) < 0,9           | Função com valor crítico    |

Fonte: Adaptado de Pereira Filho (1994).

A Tabela 2, a seguir, apresenta um exemplo de avaliação numérica do VE agregado das funções de um “Monitor de Vídeo” e destaca que as funções “transmitir sinal” e “focar imagem” com as funções com Valor mais crítico para o fabricante do produto.

Tabela 2 - Exemplo de Avaliação Numérica do Valor Econômico Agregado as Funções de um Produto

| Código       | Funções<br>(Verbo+Substantivo) | Função - GI (%) | Custo (%)      | VE          | Classificação do<br>VE |
|--------------|--------------------------------|-----------------|----------------|-------------|------------------------|
| A            | Converter energia              | 27,59%          | 9,80%          | 2,81        | Ótimo                  |
| <b>B</b>     | <b>Produzir luz</b>            | <b>8,62%</b>    | <b>10,78%</b>  | <b>0,79</b> | <b>Crítico</b>         |
| C            | Receber eletricidade           | 12,07%          | 5,15%          | 2,34        | Ótimo                  |
| D            | Transmitir eletricidade        | 18,96%          | 4,42%          | 4,28        | Ótimo                  |
| E            | Receber sinal                  | 20,68%          | 18,38%         | 1,12        | Ótimo                  |
| <b>F</b>     | <b>Transmitir sinal</b>        | <b>0,01%</b>    | <b>20,83%</b>  | <b>0,01</b> | <b>Crítico</b>         |
| <b>G</b>     | <b>Focar imagem</b>            | <b>12,07%</b>   | <b>30,64%</b>  | <b>0,39</b> | <b>Crítico</b>         |
| <b>Total</b> |                                | <b>100,00%</b>  | <b>100,00%</b> |             |                        |

Fonte: Adaptado de Pereira Filho (1994).

Desta forma, as funções com Valores críticos podem ter seu VE adequado, com base na adoção de uma das cinco táticas citadas por Csillag (1995) combinada com as técnicas de geração e seleção de ideias (e.g. *Branstorming*, *Brainwriting*, Método 653 e *etc.*). Porém, neste trabalho não se aplicaram as técnicas de geração e seleção de ideias, uma vez que a solução para a melhoria das funções com valores críticos no processo analisado (capítulo 6), já será pré-estabelecida e partirá dos responsáveis pela manufatura, com base na adoção das tecnologias de “I4.0” investigadas. Cabendo apenas ao presente modelo apoiar o processo de decisão dessas aquisições com base na estratégia competitiva seguida pela empresa.

#### 2.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Ao termino deste capítulo observa-se que para atingir os objetivos específicos “estabelecer a correlação entre as funções das tecnologias que compõe a I4.0 e as estratégias de competitividade da empresa” e “determinar os índices mínimos de desempenho das funções por estratégia de competitividade” serão utilizados as ferramentas diagrama *FAST*, agrupamento *FAST* e o diagrama de Mudge, juntamente com a classificação das funções descritas por Maramaldo (1983), Miles *et al.* (1984), Pinton (1989), Basso (1991), Pereira Filho(1994), Csillag (1995), De Abreu (1995) e Abramczuk (2006), e o conceito de estratégia de competitividade de Slack (1991). Certa vez que, o diagrama de *FAST* elencará de maneira lógica as funções que representam essência do funcionamento de cada uma das tecnologias de estruturação de I4.0 e o agrupamento de *FAST* permitirá encontrar o conjunto de funções que compõe essas tecnologias e são notórias para as empresas manufatureiras. Posteriormente, essas funções de maior relevância serão classificadas para permitir a avaliação da percepção que as empresas de manufatura possuem sobre essas tecnologias fabris da Quarta Revolução Industrial. Logo com essas funções identificadas, agrupadas e classificadas, o passo seguinte consiste em hierarquizá-las por relevância para cada estratégia de competitividade, através do

diagrama de Mudge, pois, através desta ferramenta, será possível comparar as funções duas a duas, de acordo com sua importância para o desenvolvimento de cada estratégia, ou seja, transformar os parâmetros qualitativos (i.e. funções notórias de cada tecnologia para as empresas de manufatura) em quantitativos graduáveis (i.e. GI das funções sob a ótica das estratégias de competitividade). Diante disso, sabe-se que para cada estratégia um diagrama Mudge exclusivo terá que ser elaborado e ao concluir estes dois objetivos espera-se obter o conjunto de funções de maior relevância para as empresas fabris e a graduação dessas funções para cada estratégia que essas empresas possam a vir adotar.

Já para se alcançar os objetivos “estabelecer o equilíbrio das funções da manufatura no ambiente de I4.0” e “definir as tecnologias básicas para a composição de um *CPPS* que melhor representa cada estratégia” serão aplicados os princípios da I4.0 de Hermann, Pentek e Otto (2016), pois com as funções que representam cada tecnologia hierarquizadas com base em seu GI para determinada estratégia de competitividade, o seu equilíbrio e a definição das coletâneas tecnológicas será estabelecido com base na seleção ordenada do conjunto de tecnologias que representam os princípios de concepção de uma I4.0 para cada estratégia, ou seja, o conjunto ordenado de tecnologias que representam a interoperabilidade, a virtualização, a descentralização, a adaptação, a orientação a serviços e a modularização dos sistemas produtivos.

Após obtenção dessas coletâneas tecnológicas, pretende-se analisá-las quanto ao desempenho em conjunto das funções de cada tecnologia que as compõe. Logo, o diagrama de *FAST* se fará novamente presente no trabalho, proporcionando a visão funcional sistêmica necessária para análise de cada coletânea tecnológica base encontrada. Além de ser utilizado em conjunto, o agrupamento de *FAST* e taxonomia da AV, para fornecer a compreensão do senso que as empresas de manufatura possuem sobre essas coletâneas e suas funções.

Na sequência, a análise dos aspectos estruturais do modelo proposto com base no conceito das estratégias competitivas de Slack (1991) ocorrerá na intenção de evidenciar mais detalhadamente a relação entre a fundamentação do modelo com essa teoria de desenvolvimento de vantagens competitivas para o sucesso da empresa frente aos seus concorrentes de mercado.

E por último, será realizado um estudo de caso com a finalidade de avaliar o modelo proposto, quanto a sua capacidade de agregar Valor, digitalizar e desenvolver essas vantagens competitivas em um processo industrial “real”. Para isso, a ferramenta, diagrama de Mudge será utilizado novamente, hierarquizando as funções do processo analisado e na sequência, a matriz de custo por função, junto com a tabela de avaliação numérica do valor econômico

agregado por função, avaliará a capacidade do modelo em incorporar Valor a um processo de manufatura, por meio de sua digitalização. Já, a *Toolbox Industrie 4.0* de Anderl (2016) será aplicada antes e após a cada incorporação tecnológica orientada pelo modelo, para avaliar evolução dessa digitalização. Enquanto, os indicadores para cada estratégia desenvolvida serão utilizados para mensurar a evolução das vantagens competitivas no processo.

Desta forma, espera-se não apenas, atingir o objetivo geral através dos objetivos específicos da pesquisa, mas sim abrir novas oportunidades para aplicações do modelo, seguindo os passos do estudo de caso desenvolvido.



## CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este terceiro capítulo é destinado à elucidação dos procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento, análise e validação do modelo proposto por este trabalho, iniciado com a apresentação do enquadramento metodológico dado ao tema de pesquisa quanto à natureza, objetivo principal, a coleta de dados, o tratamento dado ao problema e os procedimentos realizados para posteriormente explicar a justificativa da escolha da AV como instrumento de intervenção. Logo na sequência, a estrutura metodológica para a elaboração, análise e aplicação do modelo é retratada apresentando o planejamento de cada fase de concepção com seus respectivos pontos de partida, objetivos específicos a serem atingidos, técnicas e conceitos aplicados e os resultados esperados. No encerramento deste capítulo serão feitas considerações finais sobre esses procedimentos metodológicos adotados que conduzirão aos próximos capítulos.

### 3.1. ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

O enquadramento metodológico de uma pesquisa torna-se necessário quando é preciso compreender a abordagem dada um determinado tema a ser pesquisado com relação a sua natureza, seu objetivo principal, a coleta de dados, o tratamento dado ao problema e os procedimentos realizados (GIL, 2010; MARCONI; LAKATOS, 2010).

Logo, pode-se dizer que quanto à natureza desta pesquisa, ela pode ser classificada como básica estratégica, pois os conhecimentos gerados através dela são dirigidos a implantação da MA em empresas fabris que visam migrar para este sistema produtivo e para a formulação da mesma utilizou-se o método dedutivo, ou seja, o problema de pesquisa foi idealizado a partir da intenção de se testar a hipótese de que as tecnologias de estruturação da I4.0 podem ser selecionadas com base na estratégia de competitividade adotada pelas empresas de manufatura (MARCONI; LAKATOS, 2010).

O objetivo principal pode ser identificado como explicativo, pois busca determinar os fatores que contribuem para a ocorrência de um fenômeno específico (i.e. a implantação da MA em consonância com a estratégia de competitividade adotada) e identificar as relações entre as variáveis para o seu acontecimento (i.e. as funcionalidades de cada tecnologia de estruturação da I4.0), além disso, parte da abordagem dada ao objetivo também pode ser classificado com exploratória, dado que se propõe a formular questões para trazer maior familiaridade com o tema, tornando-o mais explícito e proporcionando condições para os

autores aprenderem a encontrar respostas para outros problemas de pesquisa que venham a surgir sobre o tema (GIL, 2010).

Já a coleta de dados pode ser classificada como de natureza secundária durante o desenvolvimento e análise do modelo, por utilizar livros, artigos científicos e comerciais para a sua fundamentação, enquanto na sua aplicação pode ser determinada como de natureza primária, por utilizar um estudo de caso, como ferramenta de validação da estrutura desenvolvida. Além disso, pode-se dizer também, que a abordagem dada ao problema é predominantemente qualitativa na estruturação, mas também é caracterizada como quantitativa quanto ao tratamento do problema em si (GIL, 2010; MARCONI; LAKATOS, 2010).

Por fim, o ponto de vista dos procedimentos técnicos utilizados na pesquisa foi identificado como experimental, pois determinou como objeto de estudo a composição tecnológica de uma I4.0, selecionado as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, ou seja, as funcionalidades de cada tecnologia e definiu-se as estratégias de competitividade no ambiente de manufatura de produtos como forma de controle e o instrumento de intervenção utilizado foi a AV (CAUCHICK *et al.*, 2018).

Visto o enquadramento metodológico realizado e a abordagem dada ao tema, a próxima seção tratará de apresentar a justificativa de escolha da AV com instrumento de intervenção para modelo proposto no trabalho.

### 3.2. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DA AV COM INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO

Através da introdução deste trabalho, já é conhecido o fato de que a Quarta Revolução Industrial está apresentando ao setor de manufatura um novo conceito produtivo via rede digital e engloba uma série de inovações de TI's para fins de fabricação, as quais muitas dessas estão ainda em processo de desenvolvimento, desta forma, dificultando o processo de determinação dos benefícios que a aquisição de um determinado conjunto de tecnologias deste movimento traz para a competitividade de uma manufatura (BRETTEL *et al.*, 2014).

Logo, como AV segundo de Abreu (1995) é uma metodologia de avaliação de valor, diferenciado das demais por buscar analisar as funcionalidades de seus objetos de estudo e apresenta como resultados: o aumento do VE agregado, a melhoria da qualidade, a simplificação, a redução de custos e principalmente para este trabalho, a possibilidade de padronização de produtos e serviços. Desta forma, entende-se que o objetivo geral da pesquisa de “propor um modelo de inserção das tecnologias da Quarta Revolução Industrial alinhadas

com a manufatura e as estratégias de competitividade da empresa” pode ser atendido por tal metodologia, graças a esta abordagem funcional e o conceito de VE apresentado por Miles (1961). Certa vez que a utilização das técnicas que compõe AV, como: diagrama *FAST*, agrupamento *FAST* e diagrama de Mudge, possuem a capacidade de identificar, agrupar, classificar e especialmente mensurar as funções notórias as empresas consumidoras destas tecnológicas, com base no que se considera como Valor para elas, sendo no presente caso as estratégias de competitividade no ambiente de manufatura de produtos e a partir disso elaborar uma estrutura ordenada para o apoio a decisão da implementação destas tecnologias que melhor beneficiam a cada estratégia, com base nos seus desempenhos funcionais (i.e. GI).

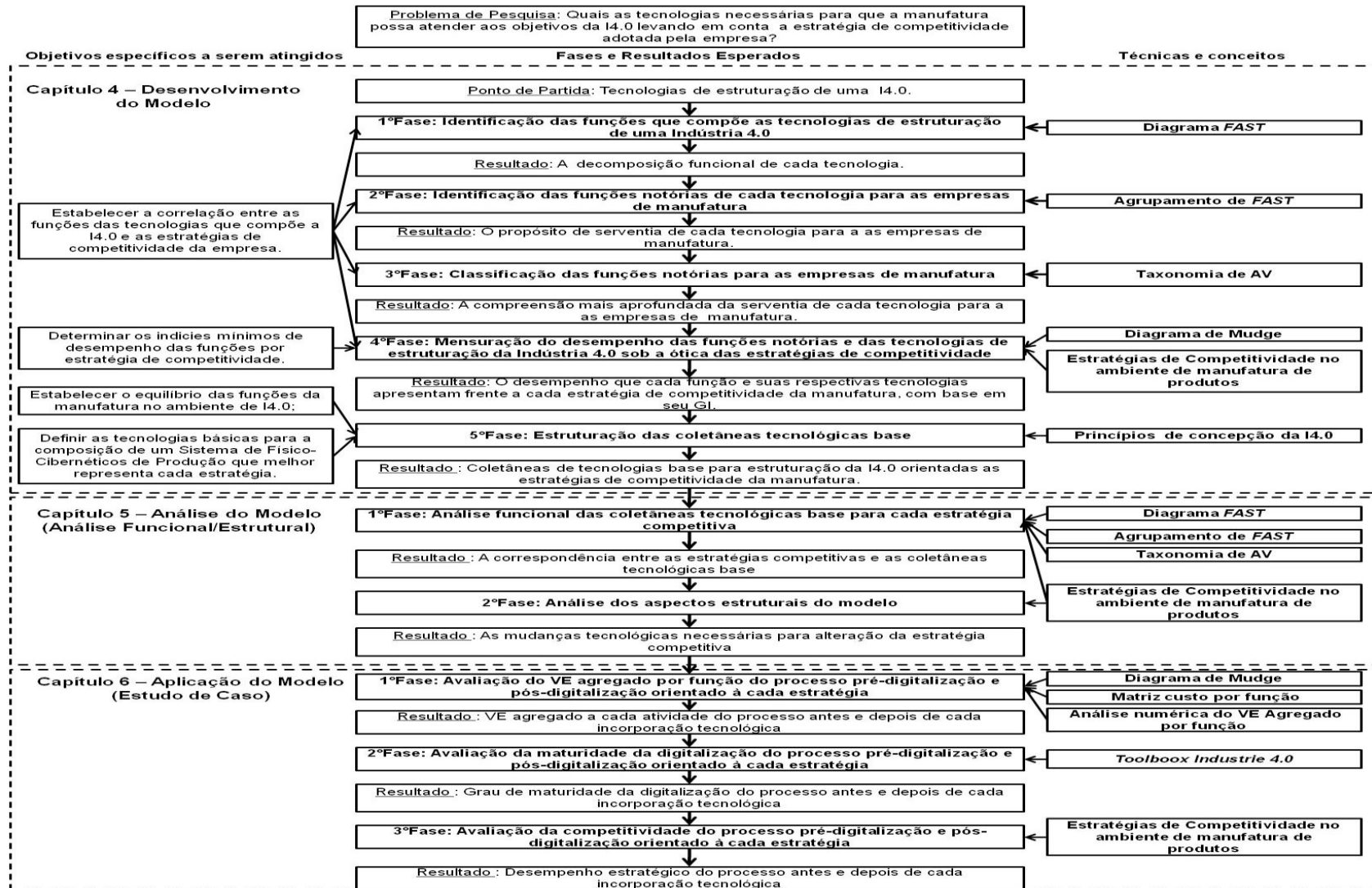
Uma vez justificada a escolha da metodologia de AV como instrumento de intervenção no presente trabalho a próxima seção deste capítulo se dedicará a apresentar a estrutura metodológica do modelo proposto, a qual evidenciará cada fase de desenvolvimento, análise e aplicação do modelo proposto com seus respectivos pontos de partida, resultados esperados, técnicas e conceitos aplicados e objetivos específicos a serem atingidos em cada uma dessas fases. Ao epílogo da seção será apresentado o resultado final planejado e suas possibilidades futuras de aplicação.

### 3.3. ESTRUTURA METODOLOGICA DO TRABALHO

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, formulou-se a seguinte estrutura metodológica para alcançá-los, conforme a Figura 14.



Figura 14 - Procedimentos de Desenvolvimento, Análise e Aplicação do Modelo Proposto e os Resultados Esperados de cada Fase



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O ponto de partida deste trabalho posterior a definição de seu problema foi a identificação do conjunto de tecnologias de estruturação da I4.0 com base nos trabalhos de Lasi *et al.* (2014), Monostori (2014), Anderl (2015), Lee, Bagheri e Kao (2015), Geissbauer, Vedso e Schrauf (2016), Schwab (2017), Ghobakhlllo (2018) e Veneri e Capasso (2018). Logo, sabe-se que para atingir o objetivo geral de “desenvolver um modelo de inserção das tecnologias da Quarta Revolução Industrial alinhadas com a manufatura e as estratégias de competitividade da empresa” será necessário a obtenção de um resultado final de cinco coletâneas tecnológicas, cada qual orientada a uma estratégia de competitividade distinta. Diante disso, buscou-se estruturar as fases de desenvolvimento do modelo proposto, com base no atendimento das duas primeiras etapas do plano de trabalho de AV sintetizado por Csillag (1995) (i.e. a definição do problema com coleta de informações e a geração de soluções), uma vez que a seleção das coletâneas tecnológicas para implantação nas empresas de manufatura, ou seja, a terceira etapa desse plano ficará a cargo dos responsáveis pela manufatura e acontecerá durante a aplicação do modelo (i.e. estudo de caso).

Sendo assim, foram propostas as seguintes fases de desenvolvendo do modelo:

- 1ª Fase – Identificação das funções que compõem as tecnologias de estruturação da I4.0;
- 2ª Fase – Identificação das funções notórias para as empresas de manufatura;
- 3ª Fase – Classificação das funções notórias para as empresas de manufatura;
- 4ª Fase – Mensuração do desempenho das funções notórias e as tecnologias de estruturação da Indústria 4.0 sob a ótica das estratégias de competitividade; e
- 5ª Fase – Estruturação das coletâneas tecnológicas base orientadas por estratégia de competitividade.

Evidencia-se ainda que as quatro primeiras fases de desenvolvimento deste modelo representam o desenvolvimento da primeira etapa do plano de trabalho de Csillag (1995), pois através da identificação das funções desempenhas pelas tecnologias, a designação das funções notórias para as empresas, a classificação e a mensuração do desempenho dessas funções, estará se definido e coletando as informações para solucionar o problema de pesquisa através da metodologia de AV. Já a execução da quinta fase de desenvolvimento corresponde a segunda etapa do plano de trabalho do Csillag (1995), visto que a estruturação das coletâneas tecnológicas orientadas por estratégias de competitividade equivale a etapa de geração de soluções para o problema de aquisição tecnológica.

Assim, para se desenvolver a primeira fase do modelo é preciso entender: “como as tecnologias de estruturação da I4.0 funcionam?” e “quais funções representam esse

funcionamento?”. Desta forma, a ferramenta diagrama *FAST* de Bytheway (1965) será responsável pela elaboração da “árvore funcional” que representará a essência do funcionamento de cada tecnologia, por meio da definição lógica de suas funções representantes.

Uma vez com essas funções denominadas, a próxima fase consiste na identificação das funções notórias para as empresas de manufaturas. Em vista disso, posterior a concepção do diagrama *FAST* para cada uma das onze tecnologias, o agrupamento *FAST de Fowler e Snodgrass* (1972) será utilizado para identificar o conjunto de funções notórias para as empresas de manufatura que pretendem adquirir estas tecnologias. Desta forma, se conhecerá quais das funções que compõe as tecnologias de estruturação da I4.0 são percebidas pelas empresas de manufatura.

Na sequência, na terceira fase, esse conjunto de funções será classificado segundo a taxonomia de AV, presente nos livros de Maramaldo (1983), Miles *et al.* (1984), Pinton (1989), Basso (1991), Pereira Filho (1994), Csillag (1995), De Abreu (1995) e Abramczuk (2006), para a avaliação da percepção que estas empresas possuem sobre as tecnologias. Como resultado desta terceira fase, ter-se-á a compreensão do senso que as empresas de manufatura possuem sobre as funcionalidades das tecnologias de estruturação da I4.0 e, conseqüentemente, facilitará o processo de mensuração do desempenho das funções frente as estratégias de competitividade.

Desta maneira, a execução destas três primeiras fases atingirá de maneira parcial o objetivo específico estabelecendo a correlação entre as funções das tecnologias que compõem a I4.0 e as estratégias de competitividade da empresa.

Já para o desenvolvimento da quarta fase do modelo é preciso transformar as informações qualitativas do conjunto classificado de funções notórias para as empresas de manufatura em informações quantitativas para a mensuração de seus desempenhos frente a estratégias de competitividade. Logo, a ferramenta diagrama de Mudge se fará presente, pois através dela será possível comparar as funções duas a duas de acordo com o que se considera como notório para o cliente, ou seja, no presente caso, as estratégias de competitividade no ambiente de manufatura de produtos.

Posto isso, sabe-se que para cada estratégia um diagrama distinto terá que ser elaborado. Assim, ao se comparar todas as funções notórias das tecnologias sob a ótica de cada estratégia de competitividade, se terá como resultado não apenas o valor numérico do desempenho de cada função por estratégia, mas sim uma hierarquização da importância destas

funções e suas tecnologias representantes por estratégia desejada pelas empresas, com base GI.

Como efeito deste resultado os objetivos específicos de “estabelecer a correlação entre as funções das tecnologias que compõe a I4.0 e as estratégias de competitividade da empresa” e “determinar os índices mínimos de desempenho das funções por estratégia de competitividade” serão atingidos por completo.

Por último, para o desenvolvimento da quinta fase do modelo é necessário estabelecer um fator de corte para as tecnologias hierarquizadas por estratégia, dessa maneira os princípios de concepção da I4.0 de Hermann, Pentek e Otto (2016) serão utilizados, pois com as tecnologias hierarquizadas pelo GI por estratégia, o conjunto de tecnologias que representar prioritariamente os princípios de interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação, orientação a serviços e modularização, através de suas funções, definirá a coletânea tecnológica mínima representante de cada estratégia.

Desta forma, se atingirá por completo os objetivos de “estabelecer o equilíbrio das funções da manufatura no ambiente de I4.0” e “definir as tecnologias básicas para a composição de um *CPPS* que melhor representa cada estratégia” obtendo-se como resultado cinco coletâneas tecnológicas base para estruturação da I4.0 orientadas as estratégias de competitividade da manufatura de produtos.

A partir deste resultado, irar-se concluir as fases de desenvolvimento do modelo e se iniciará o processo de análise do modelo, sendo propostas as seguintes fases:

- 1ª Fase – Análise funcional das coletâneas tecnológicas base para cada estratégia competitiva;
- 2ª Fase – Análise dos aspectos estruturais do modelo.

A análise funcional do conjunto tecnológico base orientado para cada estratégia de competitividade será realizado neste ponto do trabalho na intenção de investigar a aplicação conjunta dessas tecnologias. Esta investigação só será possível, graças à visão funcional sistêmica viabilizada pelo diagrama de *FAST*, enquanto o agrupamento de *FAST* e taxonomia da AV proporcionarão a compreensão do senso que as empresas de manufatura possuem sobre essas coletâneas e suas funções, possibilitando assim uma visão globalizada dessas estruturas tecnológicas por meio destas ferramentas da AV.

Na sequência a análise dos aspectos estruturais do modelo será realizada com a intenção de se evidenciar mais detalhadamente a relação entre a fundamentação do modelo proposto com a teoria das estratégias de competitividade na manufatura, possibilitando assim

compreender as mudanças tecnológicas necessárias para a alteração da estratégia competitiva dentro do ambiente de manufatura.

A partir deste resultado, concluirão as fases de análise do modelo e se iniciará o procedimento de aplicação do modelo. Este por sua vez, ocorrerá no processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP de uma indústria têxtil devido ao impacto que este processo possui em outras atividades da empresa. Dessa maneira, entende-se que esta aplicação no setor de estoque será um vetor de difusão das tecnologias de I4.0 e do método para outros setores, sendo planejado para sua execução a manipulação da estrutura proposta de forma progressiva até que se atinja a estratégia desejada pela empresa, ou seja, a estratégia de custo.

Portanto, o nível de inserção das onze tecnologias ipapel de variáveis independentes no modelo, as quais podem ser descritas como:

- Nível de inserção de *hardwares* de máquinas colaborativas;
- Nível de inserção de *hardwares* de conexão a rede;
- Nível de inserção de *hardwares* de dispositivos moveis;
- Nível de inserção de *hardwares* de sensores;
- Nível de inserção de *hardwares* de servidores;
- Nível de inserção de *softwares* de interface homem-máquinas;
- Nível de inserção de *softwares* de comunicação e informação;
- Nível de inserção de *softwares* de detecção e localização de objetos;
- Nível de inserção de *softwares* de simulação;
- Nível de inserção de *softwares* de análise de dados;
- Nível de inserção de *softwares* de detecção de dados, fraudes ou invasões.

Enquanto, as variáveis dependentes, ou seja, as variáveis que sofrem influência com a variação das variáveis independentes, serão os indicadores de cada estratégia competitiva, o nível em cada camada da *Toolbox Industrie 4.0* e o VE das funções do processo analisado pré e pós a cada digitalização, sendo estas listadas na sequência:

a) Indicadores das estratégias de competitividade

- Média de pedidos de MP entregues em uma semana;
- Tempo médio de entrega de um pedido de MP em uma semana;
- Média de pedidos de MP em atraso em uma semana;
- Número de atividades distintas realizadas por um funcionário em uma semana;
- Custo de recebimento, armazenamento e entrega de MP em uma semana;
- Integração de sensores.

- b) Camadas de aplicação da *Toolbox Industrie 4.0* para a manufatura
- Nível de processamento de dados na produção;
  - Nível de comunicação entre máquinas;
  - Nível de conectividade corporativa com a produção;
  - Nível de infraestrutura de troca de informações na produção;
  - Nível de interface homem-máquina;
  - Nível de eficiência para pequenos lotes de produção.
- c) Camadas de aplicação da *Toolbox Industrie 4.0* para o produto
- Nível de integração de sensores e atuadores;
  - Nível de comunicação entre produto e máquina;
  - Nível de funcionalidades para armazenamento de dados e troca de informação;
  - Nível de monitoramento;
  - Nível de serviços de TI relacionados ao produto;
  - Nível de modelos de negócios sobre o produto.
- d) Funções do processo analisado pré e pós a cada digitalização
- VE de receber entregador;
  - VE de conferir nota fiscal;
  - VE de recusar entrega;
  - VE de receber nota fiscal;
  - VE de arquivar nota fiscal;
  - VE de autorizar descarga;
  - VE de cadastrar dados;
  - VE de descarregar MP;
  - VE de receber pedido;
  - VE de carregar MP;
  - VE de transportar MP;
  - VE de entregar MP;
  - VE de verificar disponibilidade;
  - VE de solicitar ao fornecedor;
  - VE de realizar pedido;
  - VE de receber MP;
  - VE de receber comunicado;
  - VE de monitorar pedido com localização.

Desta forma, serão propostas as seguintes fases para a aplicação do modelo:

- 1ª Fase – Avaliação do VE agregado por função do processo pré-digitalização e pós-digitalização orientada a cada estratégia competitiva;
- 2ª Fase – Avaliação da maturidade da digitalização do processo pré-digitalização e pós-digitalização orientada a cada estratégia competitiva;
- 3ª Fase – Avaliação do grau de competitividade do processo pré-digitalização e pós-digitalização orientada a cada estratégia competitiva.

Primeiramente, o processo será mapeado quanto ao VE agregado de suas funções antes e depois de cada incorporação tecnológica orientada a uma estratégia competitiva distinta. Esta análise é realizada na intenção de se investigar a evolução do desempenho funcional do processo à medida que o uso de tecnologias na manufatura aumente.

Posteriormente, o processo será avaliado quanto à maturidade de sua digitalização antes e depois de cada inclusão tecnológica orientada a uma estratégia específica. Sendo este teste realizado através da ferramenta *Toolbox Industrie 4.0* de Anderl (2016). Deste modo, será possível identificar a evolução do nível de digitalização do processo investigado.

E por último, a avaliação do grau de competitividade do processo ocorre por meio da avaliação dos indicadores de desenvolvimento das estratégias competitivas. Sendo esses, também avaliados antes e depois de cada incorporação tecnológica.

Desta forma, se avaliará os resultados do modelo de forma prática, tanto sob a ótica da evolução funcional, quanto pelo desenvolvimento das vantagens competitivas para a empresa investigada. Ao final, espera-se que o modelo beneficie diretamente a empresa analisada, por usar os seus recursos de forma racional e direcionada a estratégia desejada e indiretamente a toda sua cadeia de fornecedores e clientes, por terem suas demandas atendidas com maior qualidade, velocidade, pontualidade, flexibilidade e menor custo em comparação ao processo antes da digitalização.

#### 3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Ao concluir este capítulo, observa-se que a estrutura metodológica desenvolvida para o trabalho tem a possibilidade de responder o problema de pesquisa formulado, a partir da execução das cinco fases de construção do modelo proposto, cada qual planejada para atingir de maneira parcial ou total um ou mais objetivos específicos até a conclusão do objetivo geral, além de duas fases de análise e três de aplicação do modelo destinadas a validação do

mesmo, tanto sob ótica da evolução funcional, quanto pela ótica do desenvolvimento das vantagens competitivas.

Além disso, essas fases de foram concebidas com base no estudo de Csillag (1995) que avaliou trinta e três planos de trabalho com os mais diversos objetos de estudo para a metodologia de AV e determinou um plano de trabalho comum a todos esses exemplos e, conseqüentemente, aplicável ao objeto de estudo desta pesquisa, ou seja, o plano para a composição tecnológica de uma I4.0 orientado as estratégias competitivas.

Ademais, a metodologia de AV está sendo utilizada como instrumento de intervenção neste trabalho, graças a sua abordagem funcional, fato este, que proporciona a capacidade de identificar, agrupar, classificar e mensurar as funções notórias para as empresas de manufatura, com base no que se considera como Valor para elas, sendo no presente caso, as estratégias de competitividade no ambiente da manufatura de produtos.

Desta maneira, considera-se que tanto a escolha do instrumento de intervenção, quanto à estrutura metodológica desenvolvida para este trabalho são passíveis de resolução do problema de pesquisa.



## CAPÍTULO 4 – DESENVOLVIMENTO DO MODELO

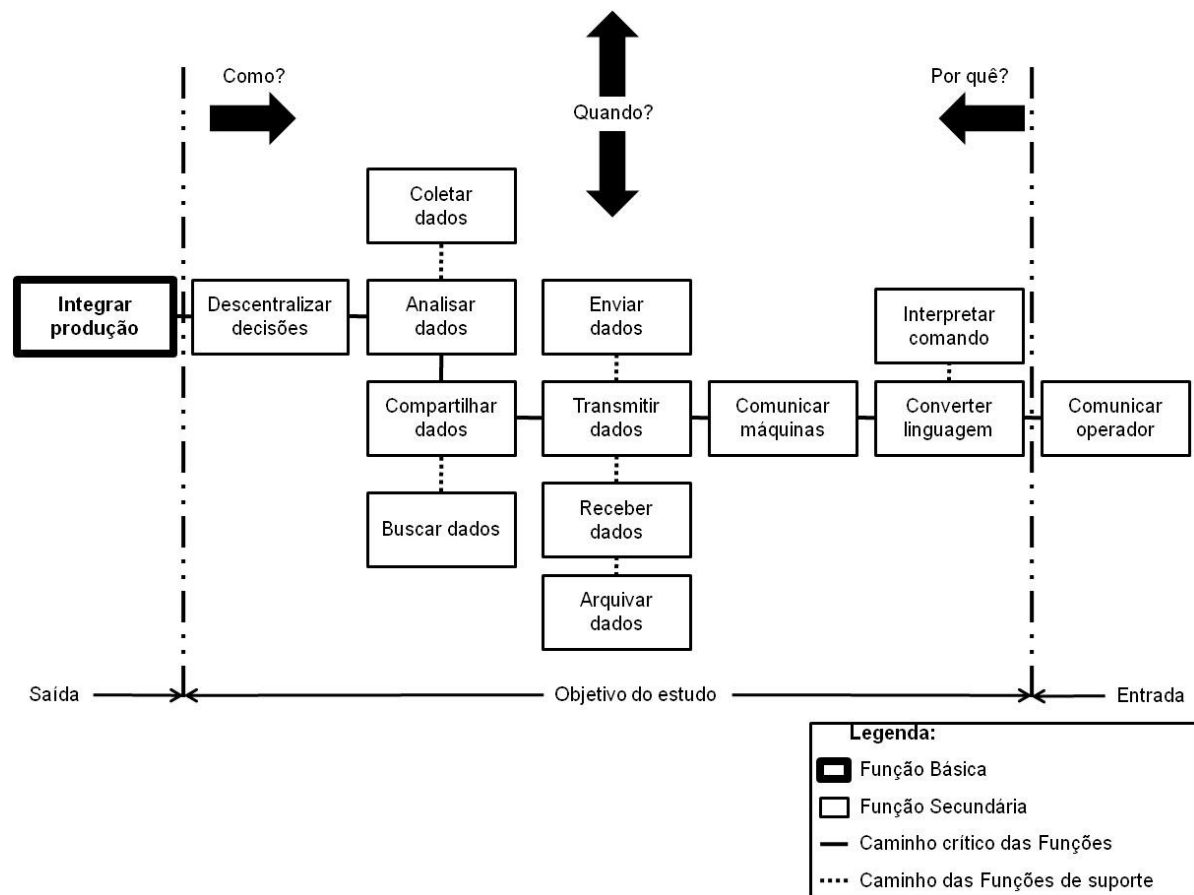
Este capítulo é destinado à apresentação das fases de construção do modelo proposto. Nesta proposta, a implantação das tecnologias da Quarta Revolução Industrial buscará estar alinhadas com a manufatura e as estratégias de competitividade das empresas.

### 4.1. 1ºFASE - IDENTIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES QUE COMPÕE AS TECNOLOGIAS DE ESTRUTURAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

Conforme já apresentado no capítulo anterior, a identificação das funções que compõe as tecnologias de estruturação da I4.0 é realizada através da técnica do diagrama *FAST*. Logo, as subseções a seguir tratarão de ilustrar o desenvolvimento desse diagrama para cada uma das onze tecnologias investigadas no trabalho.

#### 4.1.1. Diagrama *FAST* para *Hardwares* de Máquinas Colaborativas

Para descrever os *hardwares* de máquinas colaborativas definiu-se com sua função básica “integrar produção” e a partir dela desenvolveu-se as funções secundárias “descentralizar decisões” e “analisar dados”. Neste momento, percebe-se que quando o *hardware* de máquinas colaborativas analisa os dados de produção, eles também compartilham estes dados com outros *hardwares* de máquinas, servidores e dispositivos móveis por intermédio dos *hardwares* de conexão com a rede digital. Desta forma, elencaram-se as funções “compartilhar dados”, “transmitir dados”, “comunicar máquinas”, “converter linguagem” e “comunicar operador”, sendo este conjunto de funções componentes do “caminho crítico” desta tecnologia. Logo, para um maior detalhamento da tecnologia buscou-se responder a pergunta “Quando?” ao conjunto de funções que compõe este caminho e a partir desta indagação identificaram-se as funções de suporte “coletar dados”, “buscar dados”, “enviar dados”, “receber dados”, “arquivar dados” e “interpretar comando”, conforme pode ser visto na Figura 15.

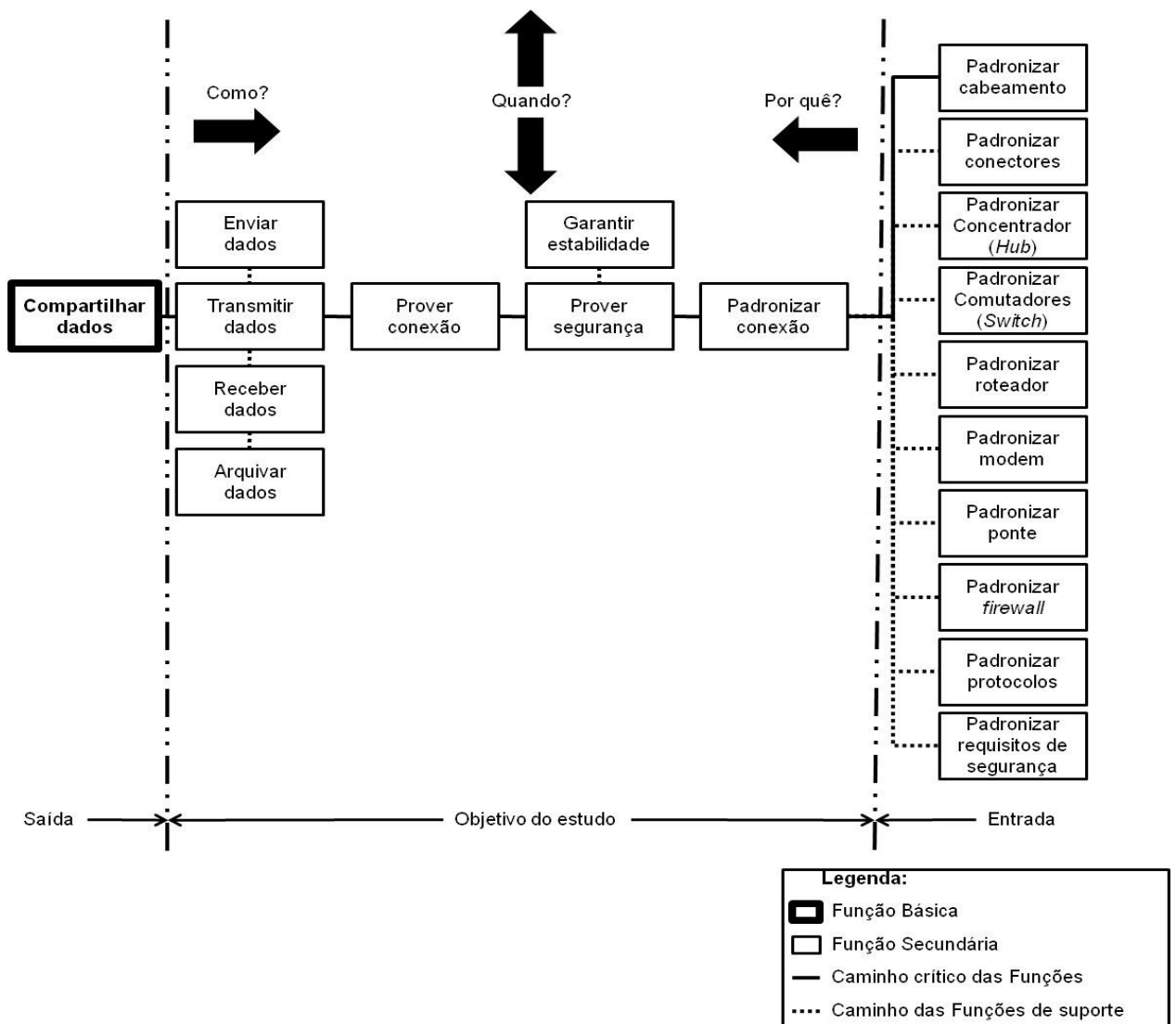
Figura 15 - Diagrama *FAST* para Representação de *Hardwares* de Máquinas Colaborativas

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao analisar o diagrama da Figura 15, percebe-se que a entrada é a comunicação do operador com as máquinas, representado através da função “comunicar operador” e a saída apresentada é a produção integrada através do trabalho conjunto das máquinas representada pela função “integrar produção” e as demais funções representam o objetivo para com este objeto de estudo.

#### 4.1.2. Diagrama *FAST* para *Hardwares* de Conexão à Rede

Para representar os *hardwares* de conexão à rede identificou-se como sua função básica “compartilhar dados”, sendo esta uma função secundária nos *hardwares* de máquinas colaborativas. Além disso, a função secundária “transmitir dados” e suas funções de suporte (e.g. “enviar dados”, “receber dados e “arquivar dados”) também se fazem presentes nesta tecnologia. Logo, a partir dessas funções se desenvolveram as demais funções secundárias componentes do “caminho crítico” (e.g. “prover conexão”, “prover segurança”, “padronizar conexão” e “padronizar cabeamento”), conforme Figura 16.

Figura 16 - Diagrama *FAST* para Representação de *Hardwares* de Conexão à Rede

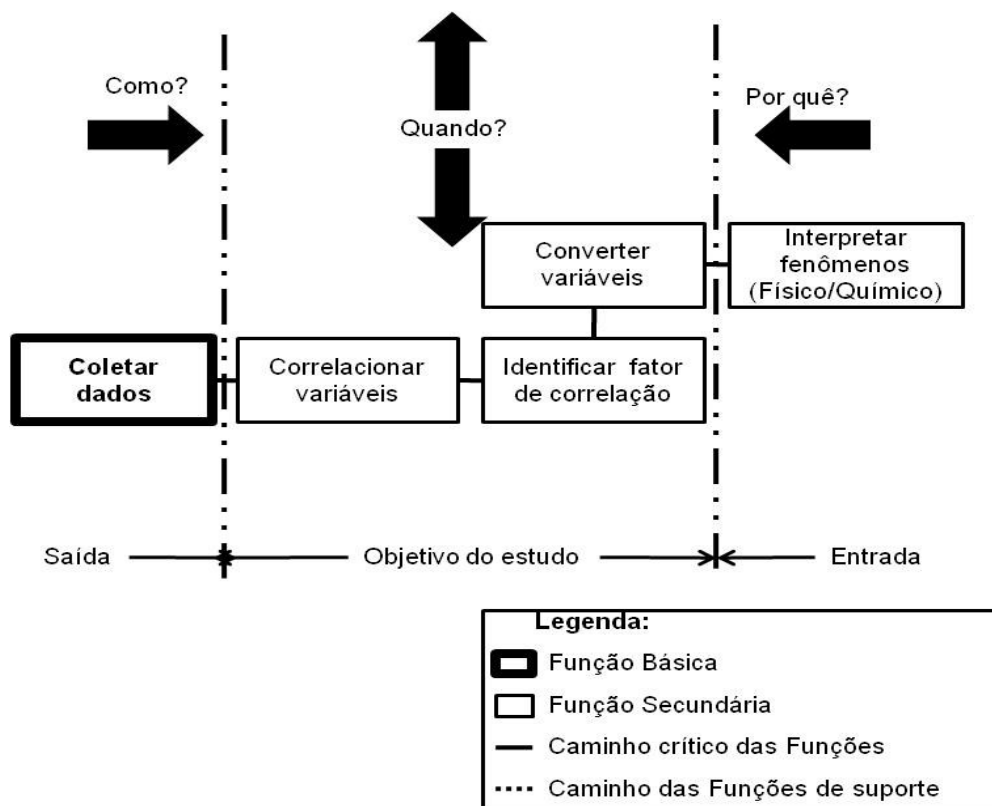
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com as funções do “caminho crítico” estabelecidas, a definição das funções do “caminho de suporte” seguiu o processo de questionamento a estas funções, buscando aprimorar a representação da tecnologia. Além disso, compreende-se que a entrada é representada pelo conjunto de funções que padronizam a operação da rede com os demais *hardwares* (e.g. “padronizar cabeamento”, “padronizar conectores”, “padronizar concentrador”, “padronizar comutadores”, “padronizar roteador”, “padronizar modem”, “padronizar ponte”, “padronizar firewall”, “padronizar protocolos” e “padronizar requisitos de segurança”), enquanto a saída, ou seja, aquilo que a tecnologia oferece ao usuário é o “compartilhamento de dados”.

#### 4.1.3. Diagrama *FAST* para *Hardware*s de Sensores

Para representar o *hardware* de sensores determinou-se que sua função básica é “coletar dados”, sendo esta uma função de apoio e secundária nos *hardware*s de máquinas colaborativas. Logo, a partir dessa função desenvolveram-se as demais funções secundárias componentes do “caminho crítico” (e.g. “correlacionar variáveis”, “identificar fator de correlação”, “converter variáveis” e “interpretar fenômenos”), vide Figura 17.

Figura 17 - Diagrama *FAST* para Representação de *Hardware*s de Sensores



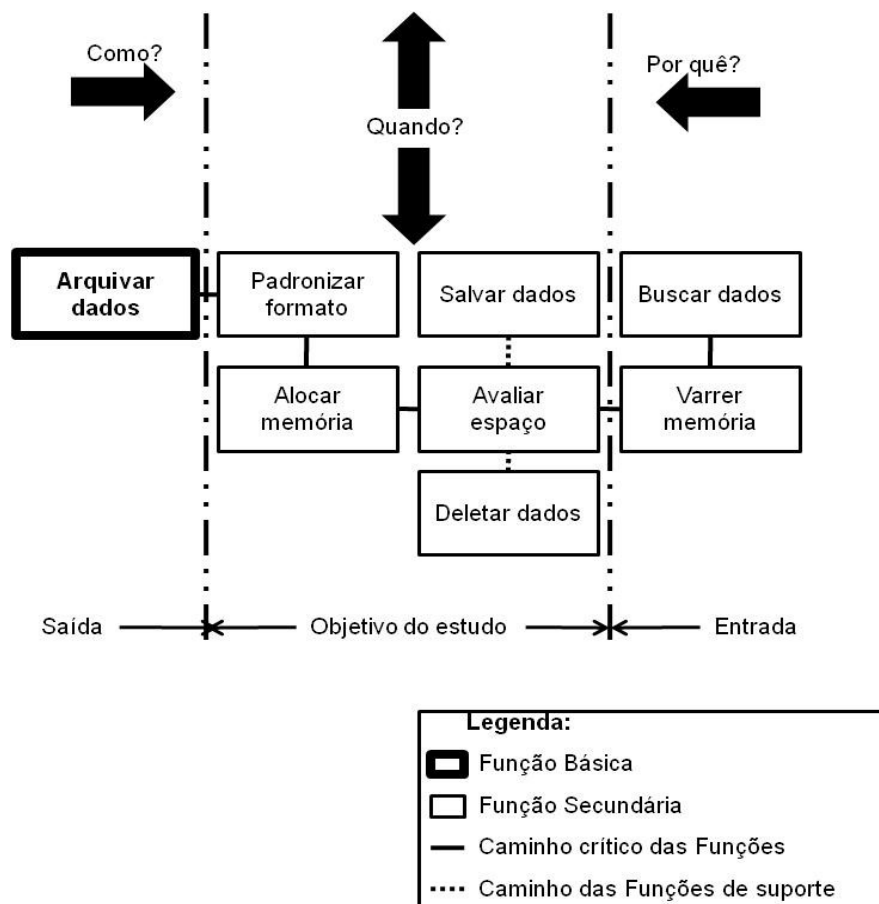
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com as funções do “caminho crítico” estabelecidas nesta etapa, não se encontrou funções de apoio para esta tecnologia e compreendeu-se que a entrada é representada pela função “interpretar fenômenos”, enquanto a saída é representada pela função básica “coletar dados”.

#### 4.1.4. Diagrama *FAST* para *Hardware*s de Servidores

Para descrever os *hardware*s de servidores definiu-se com sua função básica “arquivar dados”, sendo esta uma função de apoio e secundária nos *hardware*s de máquinas colaborativas. Logo, a partir dessa função desenvolveram-se as demais funções secundárias componentes do “caminho crítico” (e.g. “padronizar formato”, “alocar memória”, “avaliar espaço”, “varrer memória” e “buscar dados”). Já as funções de apoio foram delimitadas com base no processo de arquivamento e limpeza de memória descritos por Wu *et al.* (2015), sendo representadas pelas funções “salvar dados” e “deletar dados”, vide Figura 18.

Figura 18 - Diagrama *FAST* para Representação de *Hardware*s de Servidores



Fonte: Elaborado pelo Autor.

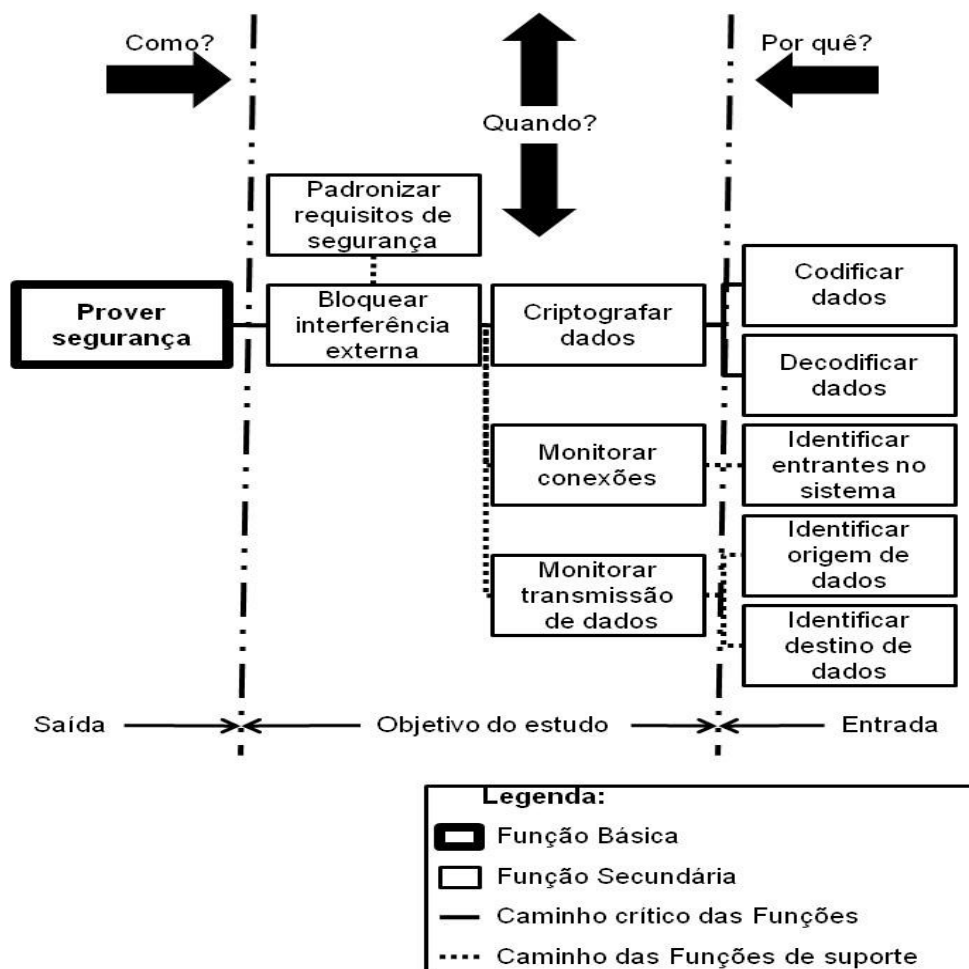
Ao finalizar o diagrama da Figura 18 compreende-se que as entradas para a operação da tecnologia são as funções de pesquisa de dados (e.g. “buscar dados” e “varrer memória”), enquanto a saída proporcionada pela tecnologia é a função básica “arquivar dados”.

#### 4.1.5. Diagrama *FAST* para *Softwares de detecção de dados, fraudes ou invasões*

Para representar os *Softwares de detecção de dados, fraudes ou invasões* delimitou-se como sua função básica “prover segurança”, sendo esta uma função secundária nos *hardwares* de conexão à rede. A partir desta função, entendeu-se que para operação da tecnologia é preciso “bloquear interferência externa”, através da criptografia de dados, onde se codifica e decodifica esses dados conforme as cifras previamente estabelecidas, assim delimitando o conjunto de funções do “caminho crítico” (e.g. “bloquear interferência externa”, “criptografar dados”).

As funções de apoio desta tecnologia foram encontradas com base na padronização dos requisitos de segurança e em outras técnicas de segurança de dados e detecção de fraudes cibernéticas (e.g. “monitorar conexões de dispositivos” e “transmissão de dados pela rede”), conforme Figura 19.

Figura 19 - Diagrama *FAST* para Representação de *Softwares de detecção de dados, fraudes ou invasões*



Fonte: Elaborado pelo Autor.

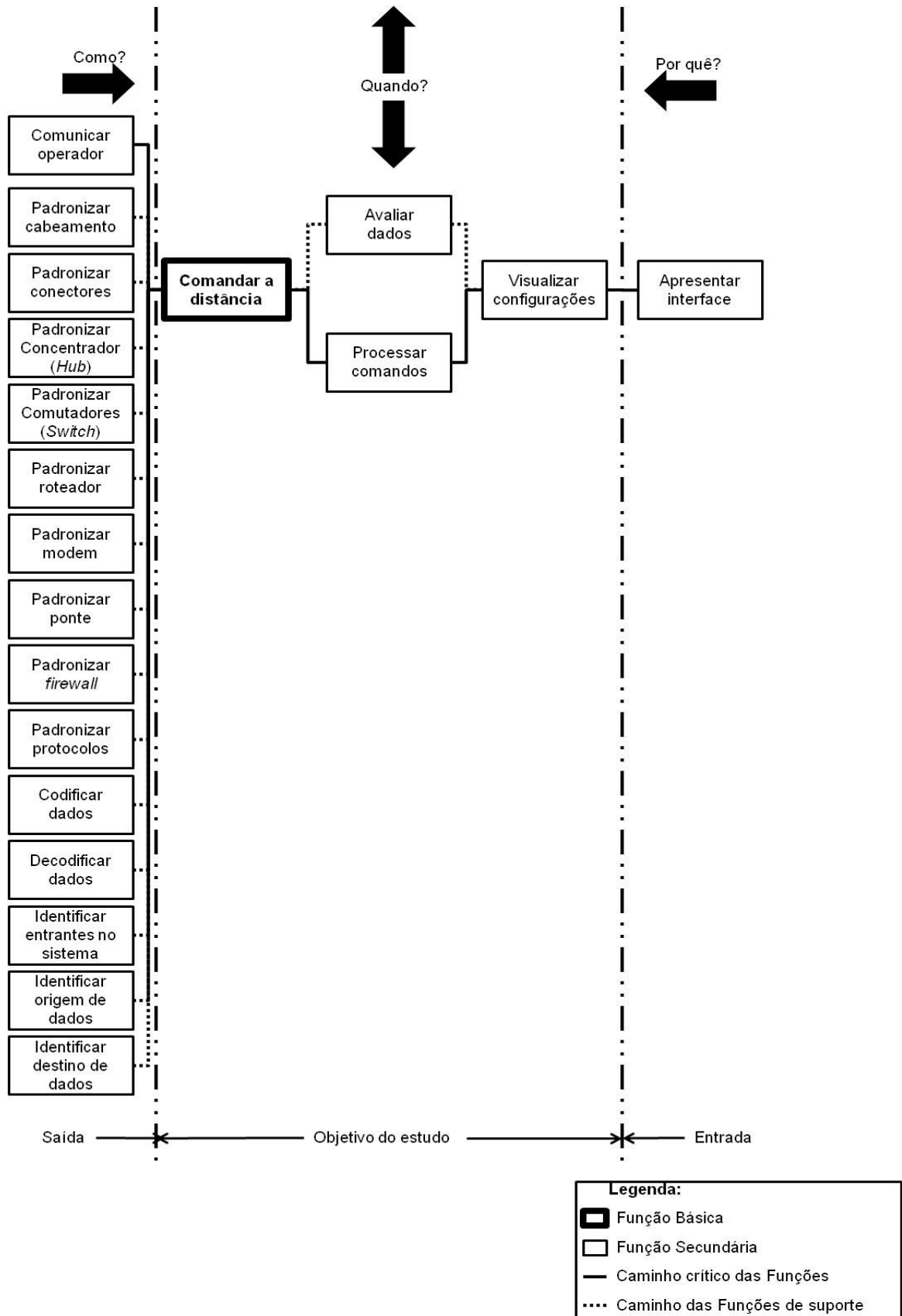
Ao concluir o diagrama da Figura 19 compreende-se que as entradas para o funcionamento da tecnologia são as funções que representam as técnicas de segurança (e.g. “codificar dados”, “decodificar dados”, “identificar entrantes no sistema”, “identificar origem dos dados” e “identificar destino dos dados”), enquanto a saída é representada pela função “prover segurança”.

#### **4.1.6. Diagrama *FAST* para *Hardware*s de Dispositivos Móveis**

Para descrever o *hardware* de dispositivos móveis foram delimitadas suas funções de saída a partir das funções de entrada dos *hardwares* de máquinas colaborativas e de conexão à rede, além dos *Softwares* de detecção de dados, fraudes ou invasões. Logo, com a execução da função “comunicar operador” e do suporte proporcionado pelas demais funções de entrada das tecnologias listadas é que viabilizou a execução da função básica “comandar a distância”.

Já as demais funções secundárias que compõe o “caminho crítico” e as funções de apoio foram determinadas na sequência pautados pela atividade de processamento e opções que estes dispositivos fornecem a seus usuários (e.g. “processar comandos”, “viabilizar configurações” e “apresentar interfaces”), vide Figura 20.

Figura 20 - Diagrama FAST para Representação de *Hardwares* de Dispositivos Móveis



Fonte: Elaborado pelo Autor.

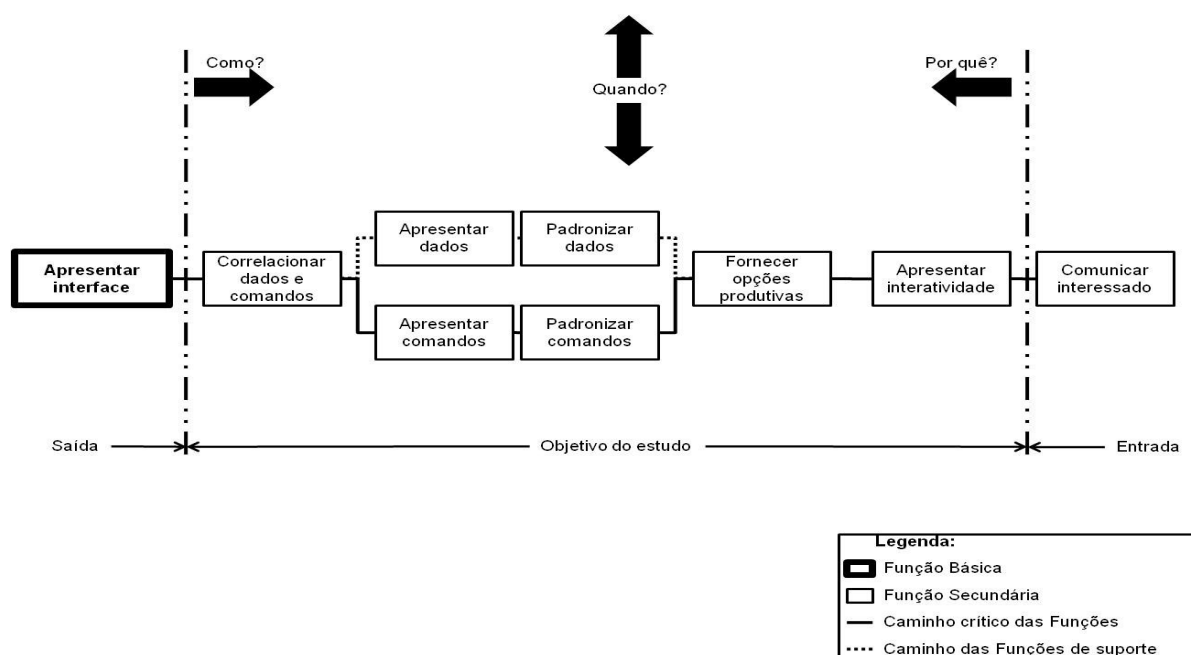


Ao término do diagrama da Figura 20 compreende-se que as entradas para o funcionamento da tecnologia são as funções que representam a padronização da comunicação, conexão e da segurança (e.g. “comunicar operador”, “padronizar cabeamento”, “padronizar conectores”, “padronizar concentradores”, “padronizar comutadores”, “padronizar roteador”, “padronizar modem”, “padronizar ponte”, “padronizar *firewall*”, “padronizar protocolos”, “codificar dados”, “decodificar dados”, “identificar entrantes no sistema”, “identificar origem dos dados” e “identificar destino dos dados”), enquanto a saída é representada pela função “apresentar interface”.

#### 4.1.7. Diagrama *FAST* para *Softwares* de Interface Homem-máquina

Para representar os *softwares* de interface homem-máquina delimitou-se como a sua função básica “apresentar interface”, sendo esta a função de saída nos *hardwares* de dispositivos móveis. Logo, a partir dessa função desenvolveram-se as demais funções secundárias componentes do “caminho crítico” (e.g. “correlacionar dados e comandos”, “apresentar comandos”, “padronizar comandos”, “fornecer opções produtivas”, “apresentar interatividade” e “comunicar interessado”). Já as funções de apoio foram delimitadas com base na exposição dos dados do sistema produtivo que possam ser de interesse para o usuário (e.g. “apresentar dados” e “padronizar dados”), conforme Figura 21.

Figura 21 - Diagrama *FAST* para Representação de *Softwares* de Interface Homem-máquina



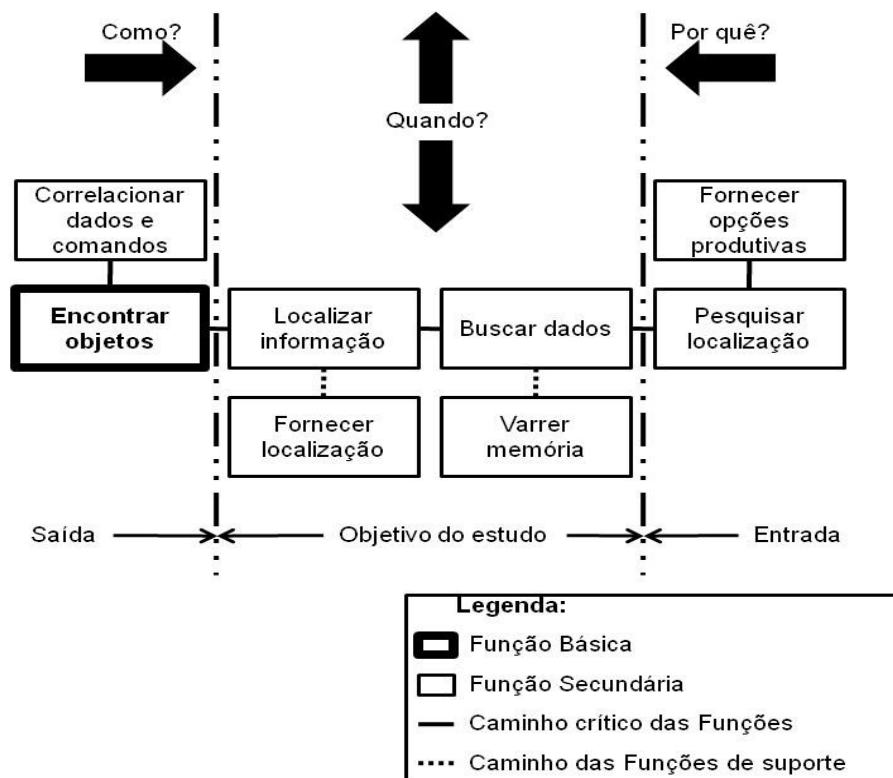
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com a conclusão do diagrama da Figura 21 entende-se que a entrada para a operação da tecnologia é comunicação entre o interessado, podendo este ser um operador, gerente, cliente ou fornecedor, com os *softwares* e *hardwares*, enquanto a saída é a representação de uma interface que apresente os dados atualizados e possíveis comandos do sistema produtivo digitalizado.

#### 4.1.8. Diagrama *FAST* para *Softwares* de Detecção de Objetos

Para representar os *softwares* de detecção de objetos delimitou-se como a sua função básica “encontrar objetos”, sendo esta a função executada juntamente com a função secundária dos *softwares* de interface homem-máquina, “correlacionar dados e comandos”. Logo, partindo da função básica se construiu as demais funções secundárias que compõe o “caminho crítico” (e.g. “localizar informação”, “buscar dados”, “pesquisar localização” e “fornecer opções produtivas”), enquanto as funções de apoio foram determinadas com base no processo busca e fornecimento de localização (e.g. “fornecer localização” e “varrer memória”), de acordo com a Figura 22.

Figura 22 - Diagrama *FAST* para Representação de *Softwares* de Detecção de Objetos



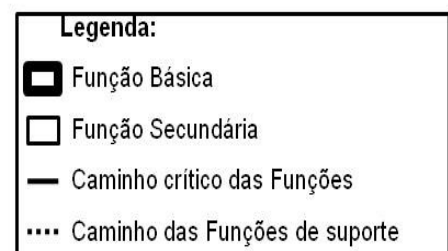
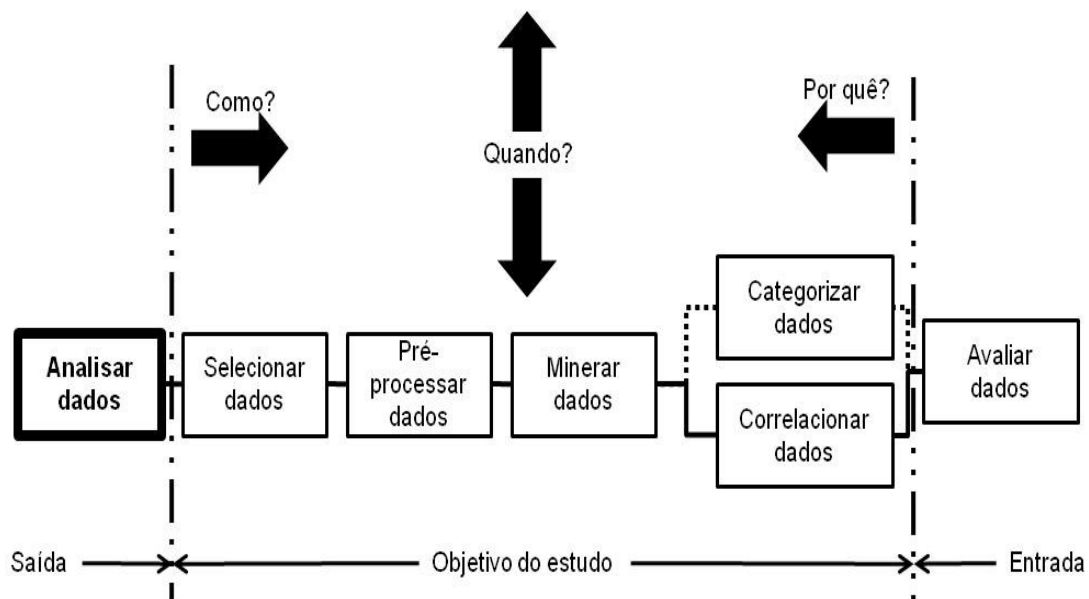
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao término do diagrama da Figura 22 entende-se que as entradas para a operação da tecnologia são as funções que representam as opções produtivas e a pesquisa pela localização de objetos, enquanto a saída é representada pela localização do objeto e a correlação desta informação com dados e possíveis comandos para o sistema produtivo.

#### 4.1.9. Diagrama *FAST* para *Softwares* de Análise de Dados

Para representar os *softwares* de análise de dados delimitou-se como a sua função básica “analisar dados”, sendo esta uma função secundária dos *hardwares* de máquinas colaborativas. Logo, a partir dessa função desenvolveram-se as demais funções secundárias componentes do “caminho crítico” (e.g. “selecionar dados”, “pré-processar dados”, “minerar dados”, “correlacionar dados” e “avaliar dados”). Já a função de apoio foi delimitada com base no processo de classificação de dados realizados pela tecnologia, conforme Figura 25.

Figura 23 - Diagrama *FAST* para Representação de *Softwares* de Análise de Dados



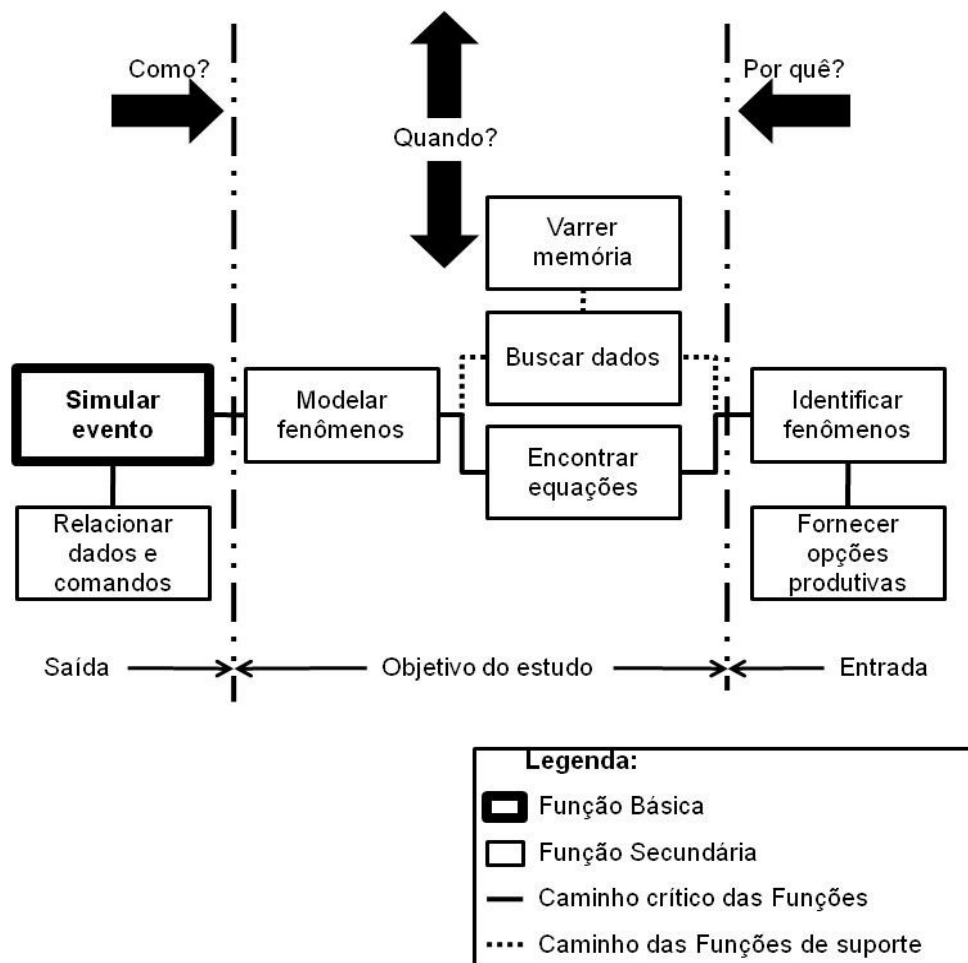
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com a conclusão do diagrama da Figura 23 entende-se que a entrada para a operação da tecnologia são os dados previamente avaliados, que serão analisados pelo *software* para a tomada de decisão dos *hardwares* de máquinas colaborativas.

#### 4.1.10. Diagrama *FAST* para *Softwares* de Simulação

Para representar os *softwares* de simulação determinou-se como sua função básica “simular evento”, sendo esta a função executada juntamente com a função secundária dos *softwares* de interface homem-máquina, “correlacionar dados e comandos”. Logo, partindo da função básica se construiu as demais funções secundárias que compõe o “caminho crítico” (e.g. “modelar fenômenos”, “encontrar equações”, “identificar fenômenos” e “fornecer opções produtivas”), enquanto as funções de apoio foram determinadas com base no processo busca e fornecimento de dados (e.g. “buscar dados” e “varrer memória”), de acordo com a Figura 26.

Figura 24 - Diagrama *FAST* para Representação de *Softwares* de Simulação



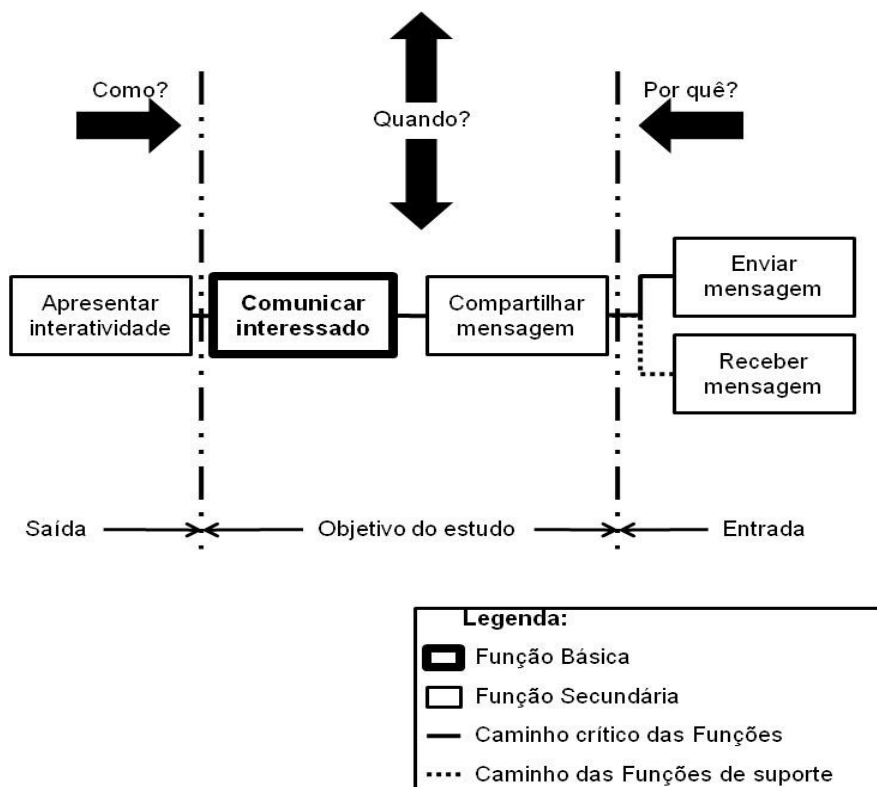
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao término do diagrama da Figura 24, entende-se que as entradas para a operação da tecnologia são as funções que representam as opções produtivas e a identificação dos fenômenos vinculados ao evento que se pretende simular enquanto a saída é representada pela própria simulação do evento e a correlação desta informação com dados e possíveis comandos para o sistema produtivo.

#### 4.1.11. Diagrama *FAST* para *Softwares* de Comunicação e Informação

A primeira função delimitada para os *softwares* de comunicação e informação foi a função “apresentar interatividade”, sendo esta, a função de entrada dos *softwares* de interface homem-máquina, e a partir dela definiu-se a função básica “comunicar interessado”. Logo, fundamentado na função básica desenvolveram-se as demais funções secundárias componentes do “caminho crítico” (e.g. “compartilhar mensagem” e “enviar mensagem”). Já a função de apoio foi delimitada com base no processo de recebimento das mensagens dos interessados, conforme Figura 25.

Figura 25 - Diagrama *FAST* para Representação de *Softwares* de Comunicação e Informação



Fonte: Elaborado pelo Autor.

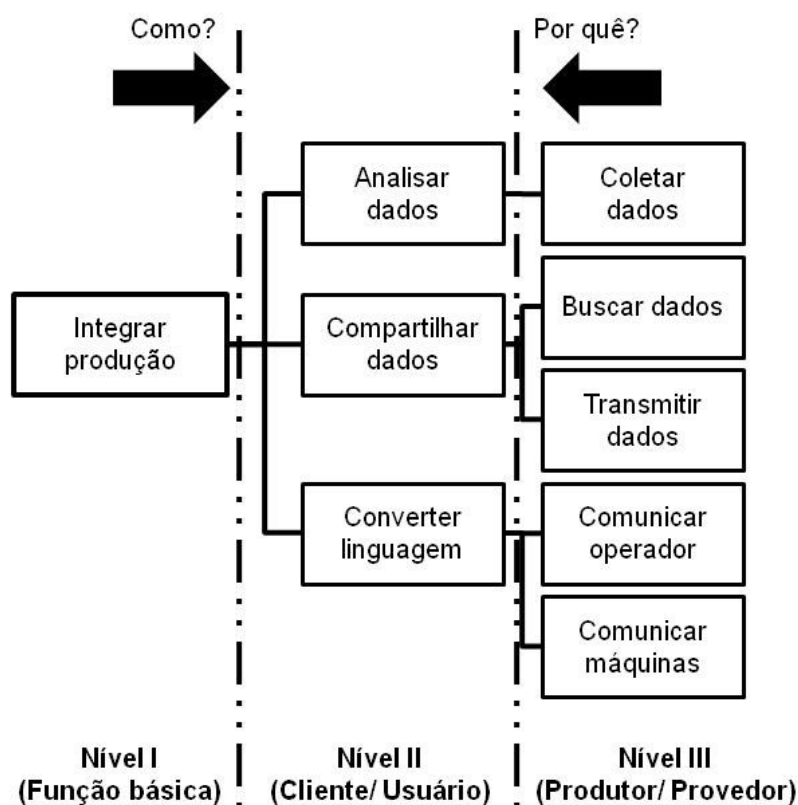
Ao termino do diagrama da Figura 25 entende-se que as entradas para a operação da tecnologia são as funções que representam o envio e recebimento de mensagem enquanto a saída é representada pela interatividade do *software* com os demais *softwares* e *hardwares* ao compartilhar as informações pela manufatura e com as demais partes interessadas (i.e. fornecedores e clientes).

## 4.2 2ºFASE – IDENTIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES NOTÓRIAS PARA AS EMPRESAS DE MANUFATURA

Com as funções representantes das tecnologias de estruturação da I4.0 estabelecidas, a segunda fase de desenvolvimento do modelo consiste na identificação de quais dessas funções são mais relevantes para as empresas de manufatura, sendo esta atividade realizada pela ferramenta agrupamento *FAST*. Logo, as subseções a seguir tratarão de ilustrar o desenvolvimento desta ferramenta para cada uma das onze tecnologias pesquisadas.

### 4.2.1. Agrupamento *FAST* para *Hardwares* de Máquinas Colaborativas

Conforme, já identificado no diagrama *FAST*, a função básica dos *hardwares* de máquinas colaborativas é “integrar a produção” e para que ela ocorra, sob o ponto de vista dos clientes, é preciso definir as funções “analisar dados”, “compartilhar dados” e “converter linguagem”. Logo, para que a função de “analisar dados” aconteça do ponto de vista do produtor, é preciso “coletar dados”, enquanto a função “compartilhar dados” necessita de “buscar dados” e “transmitir dados” e a função “converter linguagem” requer “comunicar operador” e “comunicar máquinas”, vide Figura 26.

Figura 26 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Hardwares* de Máquinas Colaborativas

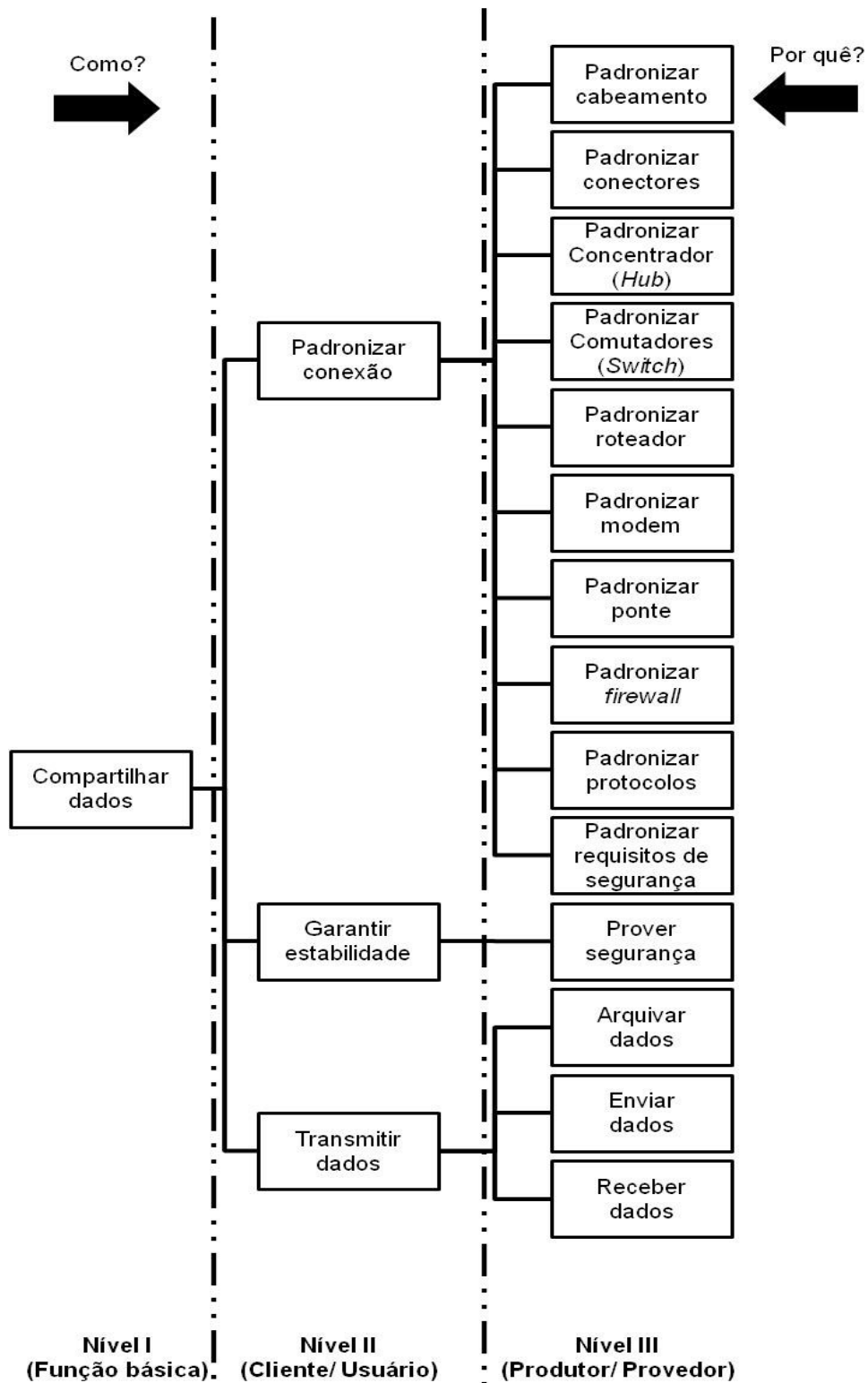
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Desta forma, as funções “analisar dados”, “compartilhar dados” e “converter linguagem” possuem destaque na AV dos *hardwares* de máquinas colaborativas.

#### 4.2.2. Agrupamento *FAST* para *Hardwares* de Conexão à Rede

A função básica dos *hardwares* de conexão à rede é descrita como “compartilhar dados” e, para que a mesma aconteça, segundo a percepção dos clientes, é preciso “padronizar conexões”, “garantir estabilidade” e “transmitir dados”. Já para que a função “padronizar conexões” ocorra, segundo a percepção dos fabricantes, é preciso “padronizar cabeamento”, “padronizar conectores”, “padronizar concentradores”, “padronizar comutadores”, “padronizar roteador”, “padronizar modem”, “padronizar ponte”, “padronizar *firewall*”, “padronizar protocolos” e “padronizar requisitos de segurança”, enquanto “garantir estabilidade” é necessário “prover segurança” e “transmitir dados” requer “arquivar dados”, “enviar dados” e “receber dados”, conforme Figura 27.

Figura 27 - Agrupamento *FAST* para Representação dos *Hardware*s de Conexão à Rede



Fonte: Elaborado pelo Autor.

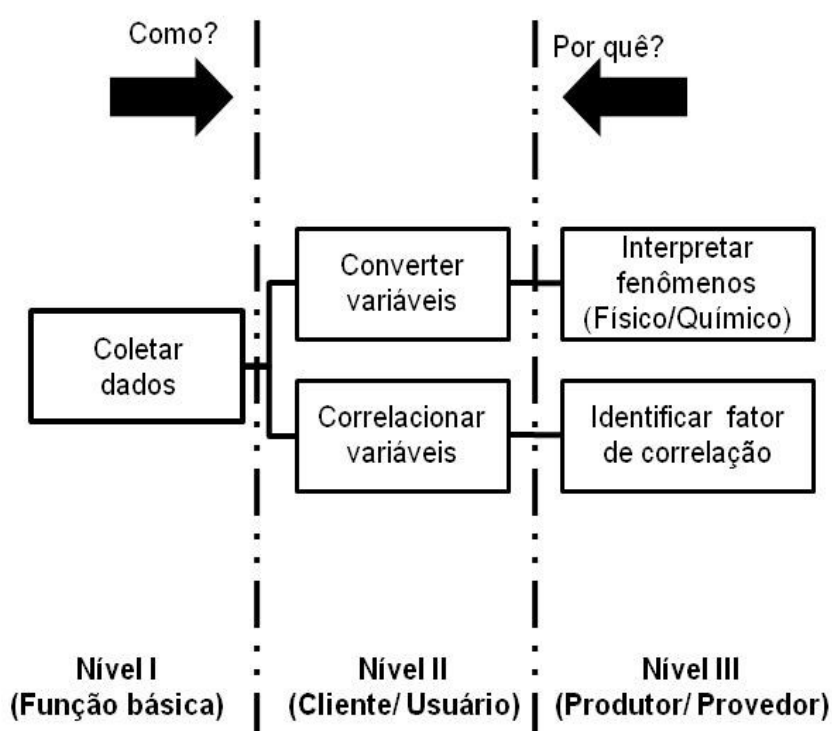
Desta maneira, as funções “padronizar conexão”, “garantir estabilidade” e “transmitir dados” são o foco na AV da tecnologia.



### 4.2.3. Agrupamento *FAST* para *Hardware*s de Sensores

A função básica dos *hardware*s de sensores é descrita como “coletar dados” e, para que a mesma aconteça, segundo a visão dos clientes, é preciso “converter variáveis” e “correlacionar variáveis”. Já para que a função “converter variáveis” ocorra, segundo a visão dos fabricantes, é preciso “interpretar fenômenos”, enquanto “correlacionar variáveis” requer “identificar o fator de correlação”, conforme Figura 28.

Figura 28 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Hardware*s de Sensores



Fonte: Elaborado pelo Autor.

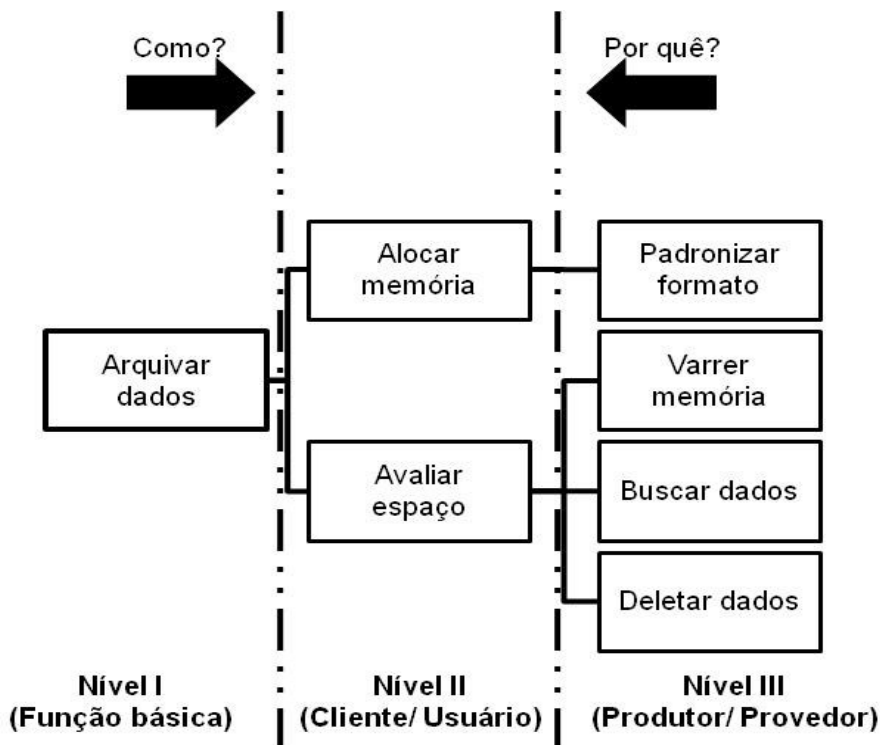
Desta forma, as funções “converter variáveis” e “correlacionar variáveis” possuem destaque na AV dos *hardware*s de sensores.

### 4.2.4. Agrupamento *FAST* para *Hardware*s de Servidores

A função básica dos *hardware*s de servidores consiste em “arquivar dados” e para que a mesma ocorra, segundo a percepção dos clientes é preciso “alocar memória” e “avaliar espaço” no servidor. Logo, para que a função “alocar memória” aconteça, segundo a

percepção do fabricante, é preciso “padronizar formato”, enquanto “avaliar espaço” requer “varrer memória”, “buscar dados” e “deletar dados”, vide Figura 29.

Figura 29 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Hardwares* de Servidores

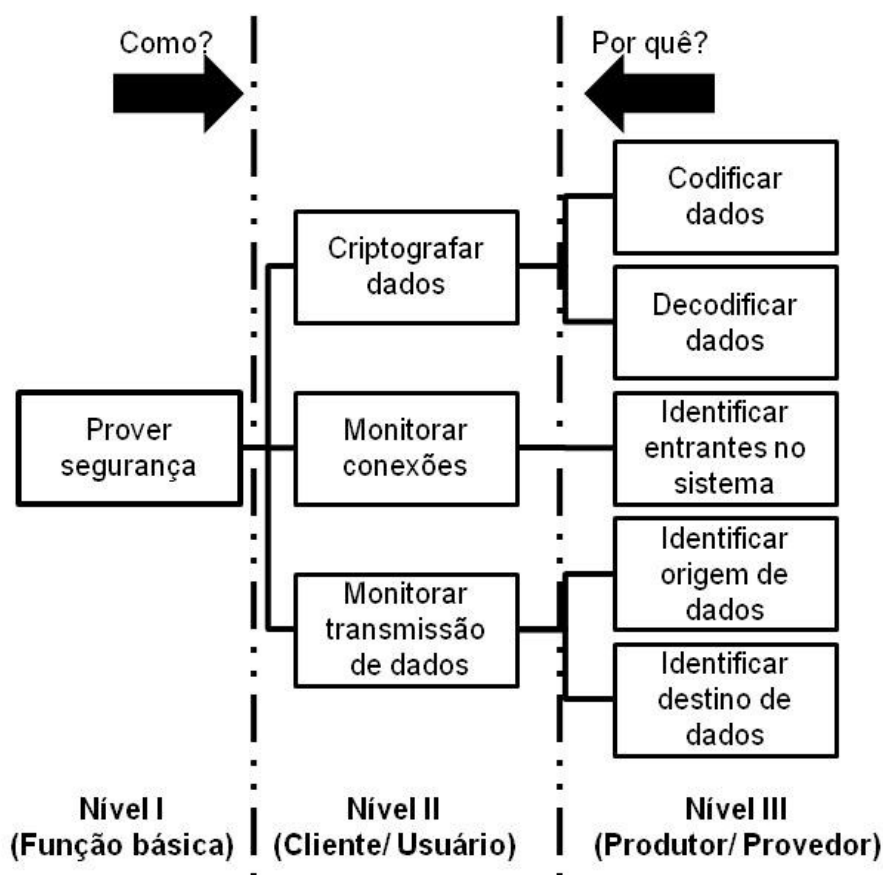


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim, as funções “alocar memória” e “avaliar espaço” são o foco para a AV dos *hardwares* de servidores, neste trabalho

#### 4.2.5. Agrupamento *FAST* para *Softwares* de detecção de dados, fraudes ou invasões

A função básica dos *Softwares* de detecção de dados, fraudes ou invasões é retratada como “prover segurança” e para que a mesma ocorra, segundo a percepção dos clientes é preciso “criptografar dados”, “monitorar conexões” e “monitorar transmissão de dados”. Logo, para que a função “criptografar dados” aconteça, segundo a percepção do fabricante, é preciso “codificar dados” e “decodificar dados”, enquanto “monitorar conexões” requer “identificar entrantes no sistema” e “monitorar transmissão de dados” é necessário “identificar origem de dados” e “identificar destino de dados”, vide Figura 30.

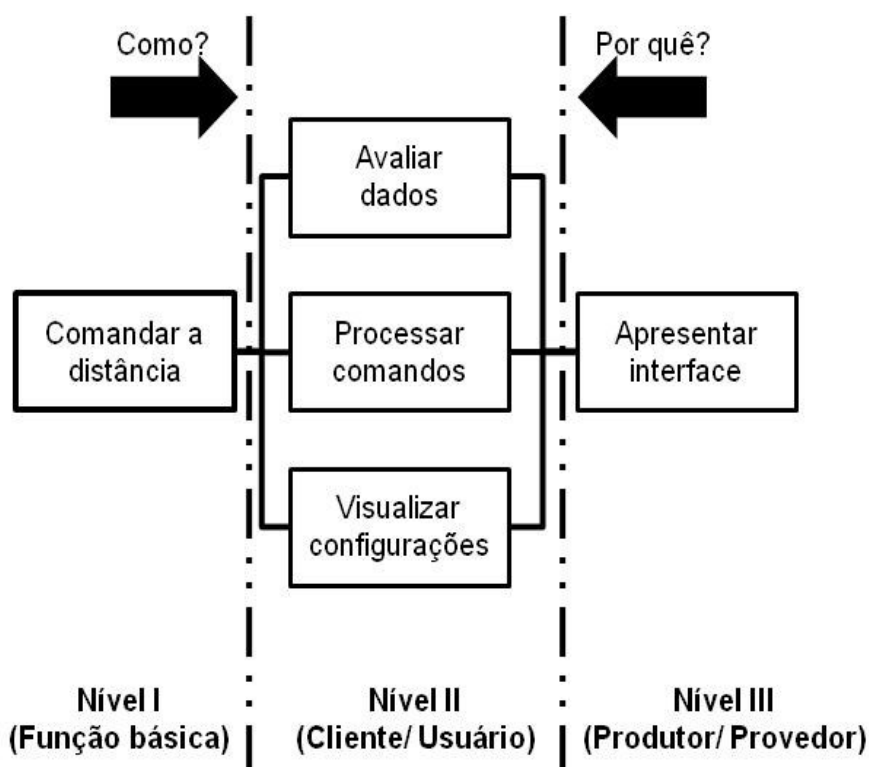
Figura 30 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Softwares* de detecção de dados, fraudes ou invasões

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim, as funções “criptografar dados”, “monitorar conexões” e “monitorar transmissão de dados” possuem destaque na AV dos *Softwares* de detecção de dados, fraudes ou invasões.

#### 4.2.6. Agrupamento *FAST* para *Hardware*s de Dispositivos Móveis

A função básica dos *hardware*s de dispositivos móveis é especificada como “comandar à distância” e, para que a mesma aconteça, segundo a visão dos clientes, é preciso “avaliar dados”, “processar comandos” e “visualizar configurações” e, para que estas três funções ocorram segundo a visão dos fabricantes, é preciso “apresentar uma interface”, conforme Figura 31.

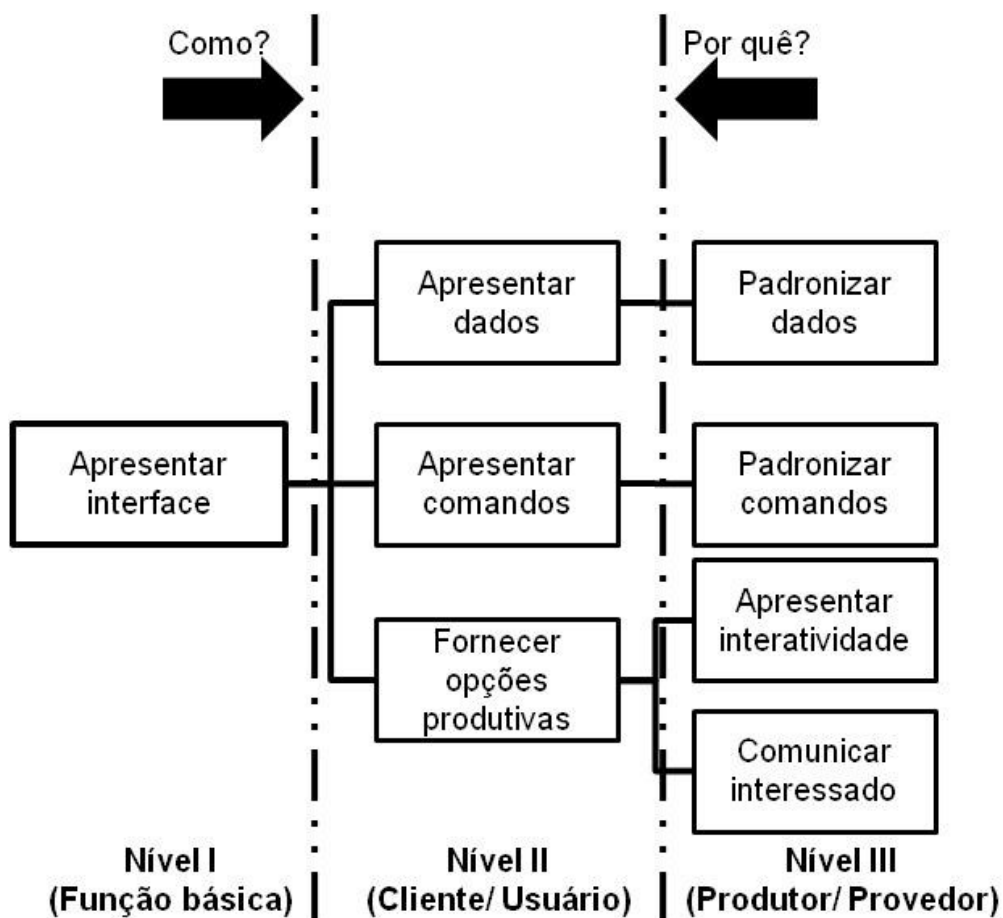
Figura 31- Agrupamento *FAST* para Representação de *Hardwares* de Dispositivos Móveis

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Desta maneira, as funções “avaliar dados”, “processar comandos” e “visualizar configurações” são o foco para a AV dos *hardwares* de dispositivos móveis, neste trabalho.

#### 4.2.7. Agrupamento *FAST* para *Softwares* de Interface Homem-máquina

A função básica dos *softwares* de interface homem-máquina é descrita como “apresentar interface” e para que esta aconteça, segundo a percepção dos clientes, é preciso “apresentar dados”, “apresentar comandos” e “fornecer opções produtivas”. Logo, para que a função “apresentar dados” aconteça, segundo a percepção dos produtores, é preciso “padronizar dados”, enquanto “apresentar comandos” requer “padronizar comandos” e “fornecer opções produtivas” é necessário “apresentar interatividade” entre *hardwares* e *softwares* e “comunicar interessado” vide Figura 32.

Figura 32 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Softwares* de Interface Homem-máquina

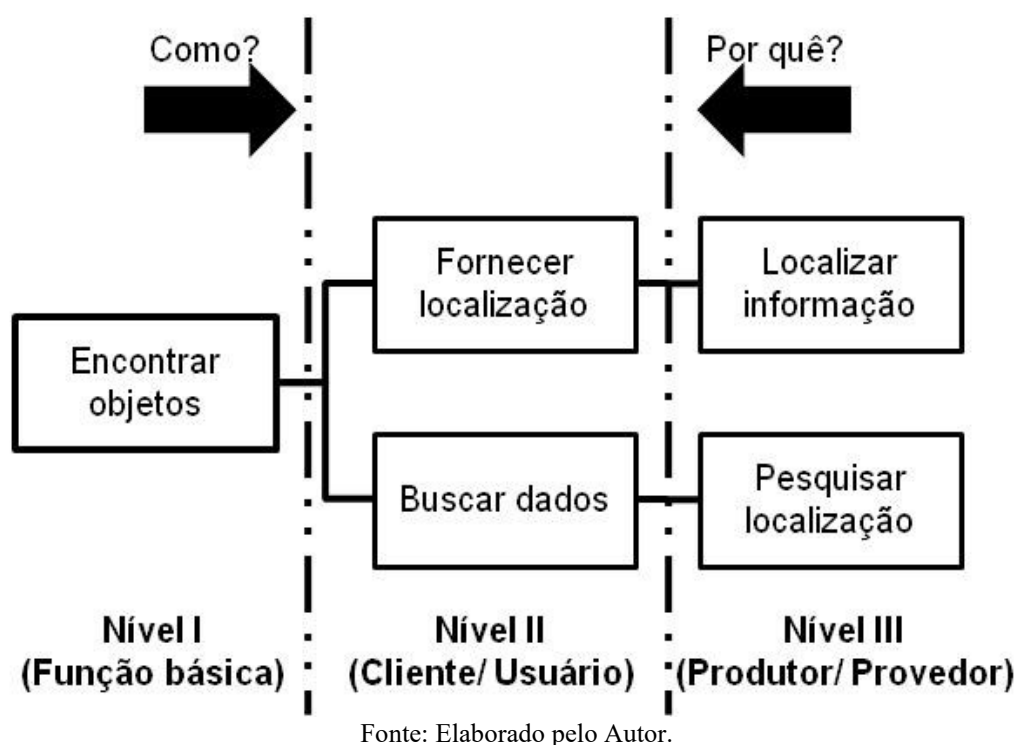
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim, as funções “apresentar dados”, “apresentar comandos” e “fornecer opções produtivas” possuem destaque na AV dos *softwares* de interface homem-máquina.

#### 4.2.8. Agrupamento *FAST* para *Softwares* de Detecção de Objetos

A função básica dos *softwares* de detecção de objetos é descrita como “encontrar objetos” e para que a mesma aconteça, segundo a visão dos clientes, é preciso “fornecer localização” e “buscar dados”. Já para que a função “fornecer localização” ocorra, segundo a visão dos fabricantes, é preciso “localizar informação” do objeto, enquanto “buscar dados” requer “pesquisar localização” dos últimos dados, conforme Figura 33.

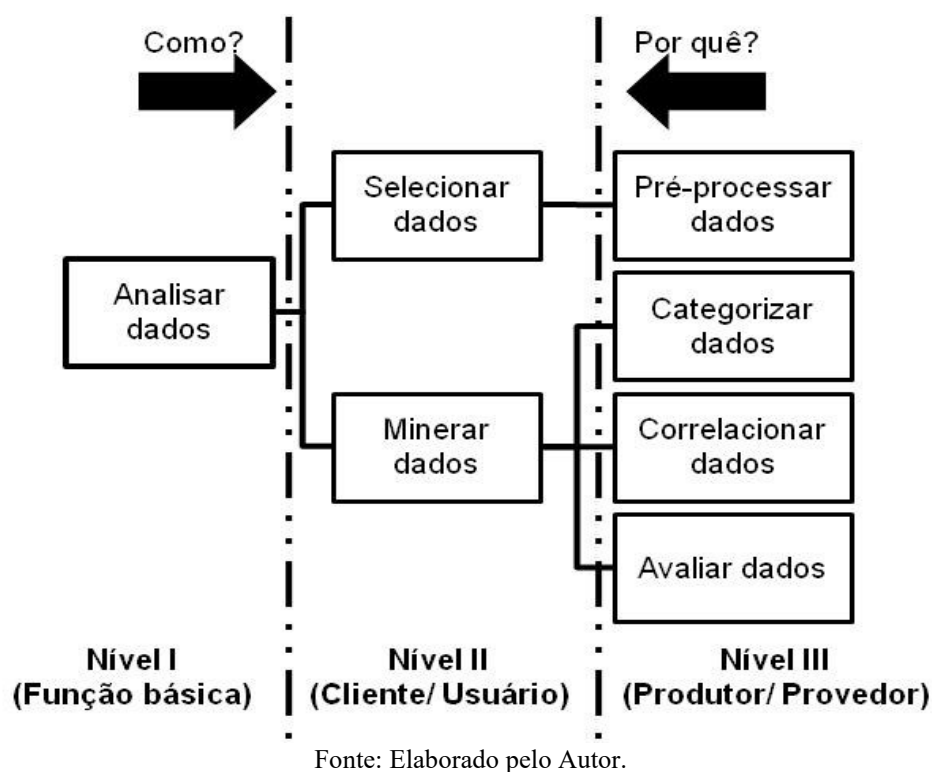
Figura 33 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Softwares* de Detecção de Objetos



Desta maneira, as funções “fornecer localização” e “buscar dados” são o foco para a AV dos *softwares* de detecção de objetos, neste trabalho.

#### 4.2.9. Agrupamento *FAST* para *Softwares* de Análise de Dados

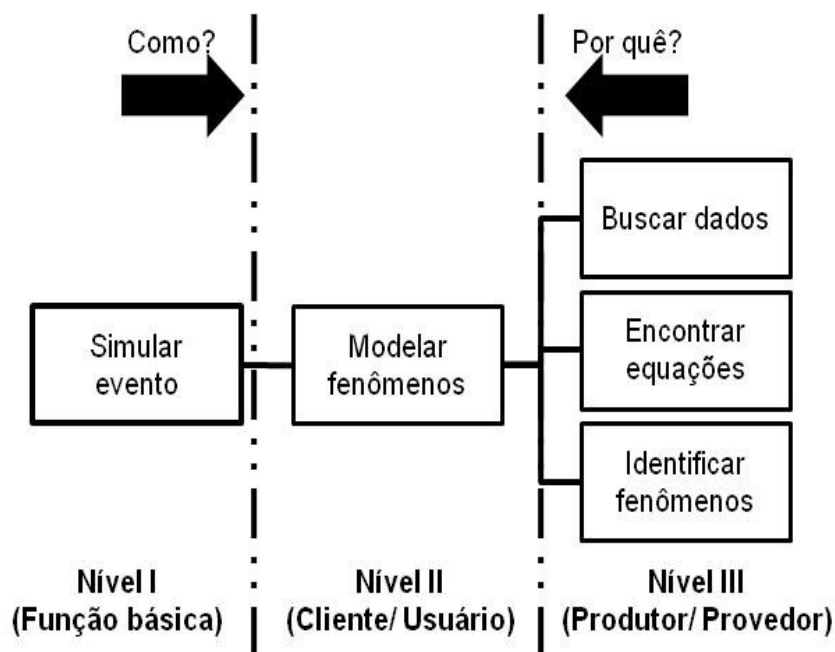
A função básica dos *softwares* de análise de dados é especificada como “analisar dados” e, para que esta aconteça, segundo percepção dos clientes, é necessário “selecionar dados” e “minerar dados”. Logo, para que a função “selecionar dados” ocorra, segundo a percepção dos produtores, é preciso “pré-processar dados”, enquanto a função “minerar dados” necessita “categorizar dados”, “correlacionar dados” e “avaliar dados”, vide Figura 34.

Figura 34 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Softwares* de Análise de Dados

Desta maneira, as funções “selecionar dados” e “minerar dados” são o foco para a AV dos *softwares* de análise de dados, neste trabalho.

#### 4.2.10. Agrupamento *FAST* para *Softwares* de Simulação

A função básica dos *softwares* de simulação é descrita como “simular eventos” e para que a mesma aconteça, segundo a visão dos clientes, é preciso “modelar fenômenos” e para que essa função ocorra, segundo a visão dos fabricantes, é preciso “buscar dados” sobre os eventos, “encontrar equações” e “identificar fenômenos”, conforme Figura 35.

Figura 35 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Softwares* de Simulação

Fonte: Elaborado pelo Autor.

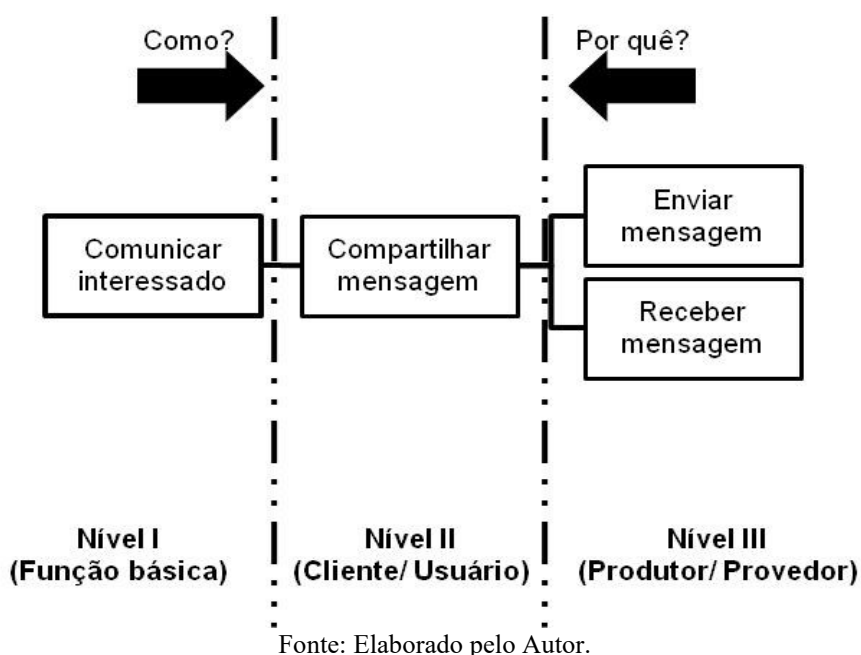
Desta forma, a função “modelar fenômenos” é o foco para a AV dos *softwares* de simulação, neste trabalho.

#### 4.2.11. Agrupamento *FAST* para *Softwares* de Comunicação e Informação

A função básica dos *softwares* de comunicação e informação é descrita como “comunicar interessado” e para que a mesma aconteça, segundo a visão dos clientes, é necessário “compartilhar mensagem” e para que essa função ocorra, segundo a visão dos fabricantes, é preciso “enviar mensagens” e “receber mensagens” entre as partes, conforme Figura 36.



Figura 36 - Agrupamento *FAST* para Representação de *Softwares* de Comunicação e Informação



Assim, a função “compartilhar mensagem” apresenta destaque na AV dos *softwares* de comunicação e informação.

#### 4.3 3ª FASE – CLASSIFICAÇÃO DAS FUNÇÕES NOTÓRIAS PARA AS EMPRESAS DE MANUFATURA

A terceira fase de concepção do modelo consiste na classificação das funções relevantes para as empresas de manufatura segundo a taxonomia de AV, com a intenção de se obter uma compreensão mais aprofundada da percepção que essas empresas possuem sobre as funcionalidades das tecnologias de estruturação da I4.0 investigadas, antes do processo de sua mensuração, conforme Quadro 3 apresenta.

Quadro 3 - Classificação das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura

| <b>Código</b> | <b>Função<br/>(Verbo+Substantivo)</b> | <b>Básica(B) ou<br/>Secundária(S)</b> | <b>Relevantes(R),<br/>Irrelevantes (Ir) ou<br/>Indesejáveis (In)</b> | <b>Uso (U) ou<br/>Estima (E)</b> | <b>Unidade de medida</b>                              | <b>Tecnologia</b>   |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------------|---|---|
| A             | Analisar dados                        | S                                     | R  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             | <i>Hardwares de máquinas colaborativas</i>                |
| B             | Compartilhar dados                    |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             |   |
| C             | Converter linguagem                   |                                       |  | U                                | Caractere por segundo (Caractere/s)                   |   |
| D             | Transmitir dados                      |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             | <i>Hardwares de conexão à rede</i>                        |
| E             | Padronizar conexão                    |                                       |  | E                                | Não Possui  |   |
| F             | Garantir estabilidade                 |                                       |  | U                                | Número de falhas por segundo (Falhas/s)               |   |
| G             | Converter variáveis                   |                                       |  | U                                | Adimensional  | <i>Hardwares de sensores</i>                              |
| H             | Correlacionar variáveis               |                                       |  | U                                | Adimensional  |   |
| I             | Avaliar dados                         |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             | <i>Hardwares de dispositivos móveis</i>                   |
| J             | Processar comandos                    |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             |   |
| K             | Visualizar configurações              |                                       |  | E                                | Não Possui  |   |
| L             | Alocar memória                        |                                       |  | U                                | Bits  | <i>Hardwares de servidores</i>                            |
| M             | Avaliar espaço                        |                                       |  | U                                | Bits  |   |
| N             | Apresentar dados                      |                                       |  | E                                | Não Possui  | <i>Softwares de interface homem-máquina</i>               |
| O             | Apresentar comandos                   |                                       |  | E                                | Não Possui  |   |
| P             | Fornecer opções produtivas            |                                       |  | E                                | Não Possui  |   |
| Q             | Fornecer localização                  |                                       |  | E                                | Não Possui  | <i>Softwares de detecção e localização de objetos</i>     |
| R             | Buscar dados                          |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             |   |
| S             | Criptografar dados                    |                                       |  | U                                | Caractere por segundo (Caractere/s)                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| T             | Monitorar conexões                    |                                       |  | U                                | Atividades por dispositivo por segundo (Atividades/s) |   |
| U             | Monitorar transmissão de dados        |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             |   |
| V             | Selecionar dados                      |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             | <i>Softwares de análise de dados</i>                      |
| W             | Minerar dados                         |                                       |  | U                                | Bits por segundo (Bits/s)                             |   |
| X             | Modelar fenômenos                     |                                       |  | E                                | Não Possui  | <i>Softwares de simulação</i>                             |
| Y             | Compartilhar mensagem                 |                                       |  | U                                | Mensagens por segundo (Mensagem/s)                    | <i>Softwares de comunicação e informação</i>              |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com a classificação das funções realizadas, preliminarmente percebe-se que as empresas manufatureiras possuem uma percepção maior quanto ao número de funções vinculadas à operação das tecnologias da Quarta Revolução Industrial. Porém, por outro lado, as funções vinculadas ao prestígio da posse e utilização destes equipamentos, mesmo que em menor número, devem ser levadas em conta, uma vez que ainda não se conhece a hierarquização entre a relevância destas funções para essas empresas. Desta forma, a próxima fase do modelo tratará de hierarquizar esta relevância sob a ótica de cada estratégia de competitividade.

#### 4.4 4ª FASE - MENSURAÇÃO DO DESEMPENHO DAS FUNÇÕES NOTÓRIAS E DAS TECNOLOGIAS DE ESTRUTURAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 SOB A ÓTICA DAS ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE

A quarta fase de desenvolvimento modelo proposto foi estruturada na intenção de mensurar as funções notórias das tecnologias frente às estratégias competitivas que podem ser adotadas pelas empresas de manufatura. O diagrama de Mudge foi utilizado nessa fase com a intenção de hierarquizar as funções por ordem de importância que elas apresentam para o cumprimento das estratégias de competitividade (i.e. exigências requeridas pelos clientes). Logo, as próximas subseções tratarão de retratar a elaboração do diagrama para cada uma das cinco estratégias de competitividade que conduzirão ao desenvolvimento da próxima fase do modelo.

##### **4.4.1. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Qualidade**

O diagrama de Mudge para a estratégia de competitividade da qualidade foi elaborado neste trabalho no intuito de identificar o conjunto de funções das tecnologias da Quarta Revolução Industrial (Quadro 3), que corroboram com a construção de um sistema de produção de maior qualidade.

Para isso, através da ferramenta comparou-se e avaliou-se essas funções sob esta ótica, obtendo como resultado seus respectivos GI's e, conseqüentemente, identificando as funções mais relevantes para a qualidade produtiva dentre as funções notórias para as empresas manufatureiras, sendo este processo representado na Figura 37.

Figura 37 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Qualidade

| A | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   | L   | M   | N   | O   | P   | Q   | R   | S   | T   | U   | V   | W   | X   | Y            | Peso | GI      |       |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|------|---------|-------|
| A | A 3 | A 1 | A 4 | A 3 | A 2 | A 3 | A 3 | I 2 | J 1 | A 3 | A 3 | A 2 | A 2 | A 3 | A 1 | A 5 | A 2 | A 5 | A 3 | A 3 | A 3 | A 5 | A 3 | A 5          | 67   | 7,55%   |       |
|   | B   | B 3 | D 1 | B 2 | B 1 | G 3 | H 5 | I 3 | J 2 | B 3 | L 2 | B 2 | N 3 | O 3 | B 2 | B 5 | R 2 | B 4 | B 3 | B 3 | B 2 | W 3 | B 3 | B 5          | 38   | 4,28%   |       |
|   |     | C   | D 1 | C 3 | C 3 | G 3 | H 3 | I 3 | J 3 | C 3 | L 3 | C 1 | N 3 | O 3 | C 2 | C 5 | R 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | W 3 | C 3          | C 5  | 37      | 4,17% |
|   |     |     | D   | D 3 | D 3 | D 2 | D 2 | I 3 | J 3 | D 3 | D 3 | D 2 | D 3 | D 3 | D 1 | D 5 | D 3 | D 5 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 5 | D 4          | D 5  | 63      | 7,09% |
|   |     |     |     | E   | F 3 | G 2 | H 3 | I 3 | J 4 | K 1 | L 4 | M 2 | N 3 | O 3 | P 3 | Q 5 | R 4 | S 3 | T 3 | U 3 | V 4 | W 3 | E 1 | E 5          | 6    | 0,68%   |       |
|   |     |     |     |     | F   | G 2 | H 3 | I 4 | J 2 | F 3 | L 3 | M 1 | N 3 | O 3 | P 3 | F 4 | R 3 | F 2 | F 2 | F 2 | V 5 | W 3 | F 5 | F 5          | 26   | 2,93%   |       |
|   |     |     |     |     |     | G   | G 1 | I 4 | J 2 | G 3 | L 3 | G 3 | N 3 | O 2 | G 3 | G 3 | R 3 | G 3 | G 3 | G 3 | G 3 | G 3 | W 5 | G 3          | G 5  | 43      | 4,84% |
|   |     |     |     |     |     |     | H   | I 5 | J 3 | H 2 | L 3 | H 1 | N 3 | O 3 | H 1 | H 3 | R 1 | H 2 | H 3 | H 3 | H 3 | H 3 | W 5 | H 3          | H 5  | 40      | 4,50% |
|   |     |     |     |     |     |     |     | I   | I 1 | I 3 | I 3 | I 4 | I 3 | I 5 | I 4 | I 5 | I 3 | I 3 | I 4 | I 4 | I 3 | I 2 | I 3 | I 5          | 82   | 9,23%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     | J   | J 3 | J 2 | J 4 | J 2 | J 5 | J 3 | J 5 | J 2 | J 3 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 2 | J 3          | J 5  | 74      | 8,33% |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | K   | L 3 | M 1 | N 2 | O 1 | P 3 | K 3 | R 2 | K 3 | K 4 | K 4 | V 1 | W 2 | K 3 | K 5          | 23   | 2,59%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | L   | L 3 | N 1 | O 1 | L 1 | L 3 | R 2 | L 3 | L 3 | L 3 | L 2 | W 3 | L 2 | L 5          | 46   | 5,18%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | M   | N 1 | O 2 | P 3 | M 5 | R 3 | M 3 | M 3 | M 3 | V 4 | W 4 | M 5 | M 5          | 28   | 3,15%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | N   | O 1 | N 1 | N 3 | R 2 | N 3 | N 4 | N 3 | N 4 | W 1 | N 2 | N 5          | 47   | 5,29%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | O   | O 1 | O 5 | O 3 | O 5 | O 5 | O 5 | O 3 | O 1 | O 2 | O 5          | 57   | 6,42%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P   | P 3 | R 2 | P 2 | P 3 | P 2 | P 2 | W 1 | P 2 | P 5          | 31   | 3,49%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Q   | R 4 | S 1 | T 2 | U 1 | V 2 | W 3 | Q 1 | Q 1          | 7    | 0,79%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | R   | R 3 | R 3 | R 3 | R 1 | R 5 | R 4 | R 5          | 55   | 6,19%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | S   | T 2 | U 2 | V 3 | W 3 | S 1 | S 3          | 8    | 0,90%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | T   | T 3 | V 3 | W 3 | T 1 | T 3          | 14   | 1,58%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | U   | V 3 | W 3 | U 1 | U 3          | 10   | 1,13%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | V   | W 3 | V 1 | V 3          | 29   | 3,27%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | W   | W 3 | W 3          | 54   | 6,08%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X   | Y 3          | 0    | 0,00%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Y            | 3    | 0,34%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | 888  | 100,00% |       |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para a visualização do *ranking* em ordem decrescente dessas funções notórias relacionadas à qualidade da produção, a Tabela 3 traz essas informações, juntamente com suas respectivas tecnologias e a classificação, quanto ao uso e a estima.

Tabela 3 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia da Qualidade

| Ordem de Relevância | Código | Função (Verbo+Substantivo)     | Peso | GI      | Uso (U) /Estima (E) | Tecnologia  |
|---------------------|--------|--------------------------------|------|---------|---------------------|---|
| 1°                  | I      | Avaliar dados                  | 82   | 9,23%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 2°                  | J      | Processar comandos             | 74   | 8,33%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 3°                  | A      | Analisar dados                 | 67   | 7,55%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 4°                  | D      | Transmitir dados               | 63   | 7,09%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 5°                  | O      | Apresentar comandos            | 57   | 6,42%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 6°                  | R      | Buscar dados                   | 55   | 6,19%   | U                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 7°                  | W      | Minerar dados                  | 54   | 6,08%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 8°                  | N      | Apresentar dados               | 47   | 5,29%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 9°                  | L      | Alocar memória                 | 46   | 5,18%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 10°                 | G      | Converter variáveis            | 43   | 4,84%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 11°                 | H      | Correlacionar variáveis        | 40   | 4,50%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 12°                 | B      | Compartilhar dados             | 38   | 4,28%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 13°                 | C      | Converter linguagem            | 37   | 4,17%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 14°                 | P      | Fornecer opções produtivas     | 31   | 3,49%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 15°                 | V      | Selecionar dados               | 29   | 3,27%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 16°                 | M      | Avaliar espaço                 | 28   | 3,15%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 17°                 | F      | Garantir estabilidade          | 26   | 2,93%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 18°                 | K      | Visualizar configurações       | 23   | 2,59%   | E                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 19°                 | T      | Monitorar conexões             | 14   | 1,58%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 20°                 | U      | Monitorar transmissão de dados | 10   | 1,13%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 21°                 | S      | Criptografar dados             | 8    | 0,90%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 22°                 | Q      | Fornecer localização           | 7    | 0,79%   | E                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 23°                 | E      | Padronizar conexão             | 6    | 0,68%   | E                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 24°                 | Y      | Compartilhar mensagem          | 3    | 0,34%   | U                   | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              |
| 25°                 | X      | Modelar fenômenos              | 0    | 0,00%   | E                   | <i>Softwares</i> de simulação                             |
| <b>Total</b>        |        |                                | 888  | 100,00% |                     |   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na sequência, investigou-se a relevância de cada tecnologia, com base na soma do GI dessas funções notórias desempenhadas por elas, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica da Estratégia da Qualidade

| <b>Ordem de Relevância</b> | <b>Tecnologia</b>   | <b>Peso</b> | <b>GI</b> |
|----------------------------|---|-------------|-----------|
| 1°                         | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 179         | 20,16%    |
| 2°                         | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 142         | 15,99%    |
| 3°                         | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 135         | 15,20%    |
| 4°                         | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 95          | 10,70%    |
| 5°                         | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 83          | 9,35%     |
| 6°                         | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 83          | 9,35%     |
| 7°                         | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 74          | 8,33%     |
| 8°                         | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 62          | 6,98%     |
| 9°                         | <i>Softwares</i> de detecção de dados, fraudes e invasões | 32          | 3,60%     |
| 10°                        | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 3           | 0,34%     |
| 11°                        | <i>Softwares</i> de simulação                             | 0           | 0,00%     |
| <b>Total</b>               |   | 888         | 100,00%   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir destas informações, foi possível iniciar o processo de estruturação da coletânea tecnológica básica orientada à estratégia da qualidade.

#### **4.4.2. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Velocidade**

O diagrama de Mudge para a estratégia de competitividade da velocidade foi concebido neste trabalho com a intenção da descoberta do grupo de funções das tecnologias de estruturação da MA (Quadro 2) que colaboram com a construção de um sistema de produção mais dinâmico.

Para isso, através da ferramenta confrontou-se e avaliou-se essas funções sob este ponto de vista, obtendo como resultado seus respectivos GI's e, por consequência, identificando as funções mais relevantes para a velocidade produtiva dentre as funções notórias para as empresas manufatureiras, sendo este processo representado na Figura 38.

Figura 38 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Velocidade

| A | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   | L   | M   | N   | O   | P   | Q   | R   | S   | T   | U   | V   | W   | X   | Y   | Peso         | GI     |         |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|--------|---------|
| A | B 5 | C 5 | D 5 | A 3 | F 5 | A 1 | A 1 | I 1 | J 1 | A 3 | A 3 | A 3 | A 5 | A 5 | A 5 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | 56           | 6,48%  |         |
|   | B   | B 3 | D 1 | B 5 | B 3 | B 3 | B 3 | B 2 | B 2 | B 3 | B 4 | B 4 | B 4 | B 5 | B 5 | B 4 | B 4 | B 4 | B 4 | B 4 | B 4 | B 4 | B 4 | B 4 | 87           | 10,07% |         |
|   |     | C   | D 3 | C 5 | F 1 | C 3 | C 3 | I 1 | J 1 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 5 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | 63           | 7,29%  |         |
|   |     |     | D   | D 5 | D 3 | D 4 | D 4 | D 1 | D 1 | D 5 | D 5 | D 5 | D 4 | D 4 | D 5 | D 3 | D 5 | D 5 | D 5 | D 5 | D 5 | D 5 | D 5 | D 5 | 98           | 11,34% |         |
|   |     |     |     | E   | F 5 | G 2 | H 2 | I 3 | J 3 | K 3 | L 1 | M 1 | N 2 | O 2 | P 5 | Q 1 | R 1 | S 1 | T 1 | U 1 | V 3 | W 3 | X 3 | Y 5 | 0            | 0,00%  |         |
|   |     |     |     |     | F   | F 2 | F 2 | I 2 | J 2 | F 3 | F 3 | F 3 | F 3 | F 3 | F 3 | F 3 | F 3 | F 5 | F 5 | F 5 | F 5 | F 5 | F 5 | F 5 | 72           | 8,33%  |         |
|   |     |     |     |     |     | G   | G 1 | I 1 | J 1 | G 1 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | G 3 | G 1 | G 1 | G 3 | G 3 | G 3 | G 3 | G 3 | G 3 | Y 1 | 35           | 4,05%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     | H   | I 1 | J 1 | H 1 | H 2 | H 2 | H 2 | H 2 | H 3 | H 1 | H 1 | H 3 | H 3 | H 3 | H 3 | H 3 | H 3 | Y 1 | 34           | 3,94%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     | I   | I 1 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | I 5 | 85           | 9,84%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     | J   | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | J 5 | 84           | 9,72%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | K   | K 1 | K 1 | N 3 | O 3 | P 1 | K 2 | K 1 | K 3 | K 3 | K 3 | K 3 | K 3 | K 3 | Y 5 | 26           | 3,01%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | L   | L 1 | N 2 | O 2 | P 2 | L 1 | L 3 | L 2 | L 2 | U 2 | L 2 | W 2 | L 1 | Y 2 | 13           | 1,50%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | M   | N 2 | O 2 | P 2 | M 1 | M 1 | M 2 | M 3 | U 1 | V 1 | W 2 | M 2 | Y 2 | 10           | 1,16%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | N   | O 1 | P 1 | N 1 | N 1 | N 3 | N 3 | N 3 | N 3 | N 3 | N 3 | Y 1 | 29           | 3,36%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | O   | P 1 | O 1 | O 1 | O 3 | O 3 | O 3 | O 3 | O 3 | O 3 | Y 1 | 30           | 3,47%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P   | P 1 | P 1 | P 3 | P 3 | P 3 | P 3 | P 3 | P 3 | Y 1 | 32           | 3,70%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Q   | Q 1 | Q 2 | Q 3 | U 1 | V 3 | W 3 | X 1 | Y 3 | 7            | 0,81%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | R   | S 1 | T 2 | U 3 | V 2 | W 3 | X 1 | Y 1 | 1            | 0,12%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | S   | T 1 | U 1 | V 1 | W 3 | X 2 | Y 3 | 2            | 0,23%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | T   | U 3 | V 1 | W 2 | X 2 | Y 2 | 4            | 0,46%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | U   | U 1 | W 2 | U 1 | Y 2 | 14           | 1,62%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | V   | W 3 | V 1 | Y 2 | 12           | 1,39%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | W   | W 2 | Y 2 | 25           | 2,89%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X   | Y 2 | 9            | 1,04%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Y   | 36           | 4,17%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | 864    | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para a visualização do *ranking* em ordem decrescente dessas funções notórias relacionadas à velocidade da produção, a Tabela 5 traz essas informações, juntamente com suas respectivas tecnologias e a classificação, quanto ao uso e à estima.

Tabela 5 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia da Velocidade

| Ordem de Relevância | Código | Função (Verbo+Substantivo)     | Peso       | GI             | Uso (U) /Estima (E) | Tecnologia   |
|---------------------|--------|--------------------------------|------------|----------------|---------------------|--|
| 1°                  | D      | Transmitir dados               | 98         | 11,34%         | U                   | Hardwares de conexão à rede                        |
| 2°                  | B      | Compartilhar dados             | 87         | 10,07%         | U                   | Hardwares de máquinas colaborativas                |
| 3°                  | I      | Avaliar dados                  | 85         | 9,84%          | U                   | Hardwares de dispositivos móveis                   |
| 4°                  | J      | Processar comandos             | 84         | 9,72%          | U                   | Hardwares de dispositivos móveis                   |
| 5°                  | F      | Garantir estabilidade          | 72         | 8,33%          | U                   | Hardwares de conexão à rede                        |
| 6°                  | C      | Converter linguagem            | 63         | 7,29%          | U                   | Hardwares de máquinas colaborativas                |
| 7°                  | A      | Analisar dados                 | 56         | 6,48%          | U                   | Hardwares de máquinas colaborativas                |
| 8°                  | Y      | Compartilhar mensagem          | 36         | 4,17%          | U                   | Softwares de comunicação e informação              |
| 9°                  | G      | Converter variáveis            | 35         | 4,05%          | U                   | Hardwares de sensores                              |
| 10°                 | H      | Correlacionar variáveis        | 34         | 3,94%          | U                   | Hardwares de sensores                              |
| 11°                 | P      | Fornecer opções produtivas     | 32         | 3,70%          | E                   | Softwares de interface homem-máquina               |
| 12°                 | O      | Apresentar comandos            | 30         | 3,47%          | E                   | Softwares de interface homem-máquina               |
| 13°                 | N      | Apresentar dados               | 29         | 3,36%          | E                   | Softwares de interface homem-máquina               |
| 14°                 | K      | Visualizar configurações       | 26         | 3,01%          | E                   | Hardwares de dispositivos móveis                   |
| 15°                 | W      | Minerar dados                  | 25         | 2,89%          | U                   | Softwares de análise de dados                      |
| 16°                 | U      | Monitorar transmissão de dados | 14         | 1,62%          | U                   | Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões |
| 17°                 | L      | Alocar memória                 | 13         | 1,50%          | U                   | Hardwares de servidores                            |
| 18°                 | V      | Selecionar dados               | 12         | 1,39%          | U                   | Softwares de análise de dados                      |
| 19°                 | M      | Avaliar espaço                 | 10         | 1,16%          | U                   | Hardwares de servidores                            |
| 20°                 | X      | Modelar fenômenos              | 9          | 1,04%          | E                   | Softwares de simulação                             |
| 21°                 | Q      | Fornecer localização           | 7          | 0,81%          | E                   | Softwares de detecção e localização de objetos     |
| 22°                 | T      | Monitorar conexões             | 4          | 0,46%          | U                   | Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões |
| 23°                 | S      | Criptografar dados             | 2          | 0,23%          | U                   | Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões |
| 24°                 | R      | Buscar dados                   | 1          | 0,12%          | U                   | Softwares de detecção e localização de objetos     |
| 25°                 | E      | Padronizar conexão             | 0          | 0,00%          | E                   | Hardwares de conexão à rede                        |
| <b>Total</b>        |        |                                | <b>864</b> | <b>100,00%</b> |                     |  |

Fonte: Elaborado pelo Autor.



Posteriormente, verificou-se a relevância de cada tecnologia, com base na soma do GI dessas funções notórias desempenhadas por elas, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica Estratégia da Velocidade

| <b>Ordem de Relevância</b> | <b>Tecnologia</b>   | <b>Peso</b> | <b>GI</b>      |
|----------------------------|---|-------------|----------------|
| 1º                         | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 206         | 23,84%         |
| 2º                         | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 195         | 22,57%         |
| 3º                         | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 170         | 19,68%         |
| 4º                         | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 91          | 10,53%         |
| 5º                         | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 69          | 7,99%          |
| 6º                         | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 37          | 4,28%          |
| 7º                         | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 36          | 4,17%          |
| 8º                         | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 23          | 2,66%          |
| 9º                         | <i>Softwares</i> de detecção de dados, fraudes e invasões | 20          | 2,31%          |
| 10º                        | <i>Softwares</i> de simulação                             | 9           | 1,04%          |
| 11º                        | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 8           | 0,93%          |
| <b>Total</b>               |   | <b>864</b>  | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir destas informações, foi possível iniciar o processo de estruturação da coletânea tecnológica básica orientada a estratégia da velocidade.

#### 4.4.3. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Pontualidade

O diagrama de Mudge para a estratégia de competitividade da pontualidade foi elaborado neste trabalho no intuito da descoberta do grupo de funções das tecnologias de estruturação de uma I4.0 (Quadro 2) que colaboram com a construção de um sistema de produção com entregas mais confiáveis.

Para isso, através da ferramenta, confrontou-se e avaliou-se essas funções sob esta ótica, obtendo como resultado seus respectivos GI's e, por consequência, identificando as funções mais relevantes para a pontualidade produtiva dentre as funções notórias para as empresas de manufatura, sendo este processo representado na Figura 39.

Figura 39 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Pontualidade

| A | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   | L   | M   | N   | O   | P   | Q   | R   | S   | T   | U   | V   | W   | X   | Y   | Peso         | GI    |         |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-------|---------|
| A | A 3 | A 2 | A 2 | A 4 | A 2 | A 2 | A 2 | A 2 | A 2 | A 2 | A 3 | A 2 | A 3 | A 2 | A 2 | A 2 | A 2 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | 60           | 8,46% |         |
|   | B   | B 2 | D 2 | B 3 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | 54           | 7,62% |         |
|   |     | C   | D 4 | C 2 | F 1 | G 2 | H 2 | I 1 | J 1 | K 2 | L 2 | M 2 | N 3 | O 3 | P 1 | Q 5 | R 5 | C 2 | C 2 | C 2 | C 2 | C 2 | W 2 | C 2 | Y 2          | 12    | 1,69%   |
|   |     |     | D   | D 3 | D 2 | D 2 | D 2 | D 2 | D 2 | D 2 | D 3 | D 2 | D 3 | D 2 | D 2 | D 2 | D 2 | D 2 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3          | 58    | 8,18%   |
|   |     |     |     | E   | F 5 | G 5 | H 3 | I 5 | J 3 | K 4 | L 2 | M 2 | N 3 | O 3 | P 3 | Q 5 | R 5 | S 1 | T 1 | U 1 | V 3 | W 3 | X 3 | Y 5 | 0            | 0,00% |         |
|   |     |     |     |     | F   | F 2 | F 2 | I 1 | J 1 | F 3 | F 3 | F 3 | F 2 | F 2 | F 2 | Q 1 | R 1 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2          | 39    | 5,50%   |
|   |     |     |     |     |     | G   | G 1 | I 1 | J 1 | K 1 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | Q 1 | R 1 | G 3 | G 2 | G 2 | G 2 | G 3 | G 3 | G 3 | Y 1          | 34    | 4,80%   |
|   |     |     |     |     |     |     | H   | I 1 | J 1 | K 1 | H 2 | H 2 | N 1 | O 1 | P 1 | Q 1 | R 1 | H 2 | H 2 | H 2 | H 3 | W 1 | H 3 | Y 1 | 21           | 2,96% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     | I   | J 1 | I 2 | I 2 | I 2 | I 2 | I 2 | I 2 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 2          | 47    | 6,63%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     | J   | J 2 | J 2 | J 2 | J 2 | J 2 | J 2 | J 4 | J 4 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 2          | 48    | 6,77%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | K   | K 2 | K 2 | K 2 | K 2 | K 2 | Q 1 | R 1 | K 2 | K 3 | K 3 | K 3 | K 3 | K 3 | K 3 | Y 1          | 35    | 4,94%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | L   | M 1 | N 2 | O 3 | P 3 | Q 2 | R 3 | L 2 | L 2 | L 2 | L 2 | W 3 | L 2 | Y 3 | 14           | 1,97% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | M   | N 2 | O 3 | P 3 | Q 2 | R 3 | M 3 | M 3 | M 3 | M 3 | M 2 | W 3 | M 3 | Y 3          | 19    | 2,68%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | N   | O 1 | P 2 | Q 1 | R 1 | N 3 | N 3 | N 3 | N 3 | N 3 | N 3 | N 3 | Y 1          | 29    | 4,09%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | O   | P 2 | Q 3 | R 3 | O 3 | O 3 | O 3 | O 3 | O 3 | O 3 | O 3 | Y 1          | 32    | 4,51%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P   | Q 3 | R 3 | P 3 | P 3 | P 3 | P 3 | P 3 | P 3 | P 3 | Y 1          | 33    | 4,65%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Q   | R 3 | Q 5 | Q 3 | Q 3 | Q 3 | Q 2 | Q 1 | Q 2 | Q 1          | 42    | 5,92%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | R   | R 3 | R 3 | R 3 | R 3 | R 2 | R 1 | R 2 | R 1          | 45    | 6,35%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | S   | T 1 | U 2 | V 2 | W 3 | X 2 | Y 3 | 1            | 0,14% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | T   | U 1 | V 2 | W 3 | X 2 | Y 3 | 2            | 0,28% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | U   | V 1 | W 3 | X 1 | Y 3 | 4            | 0,56% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | V   | W 3 | X 1 | Y 3 | 8            | 1,13% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | W   | W 2 | Y 3 | 26           | 3,67% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X   | Y 3 | 9            | 1,27% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Y   | 37           | 5,22% |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | 709   | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para a visualização do *ranking* em ordem decrescente dessas funções notórias relacionadas pontualidade da produção, a Tabela 7 traz essas informações, juntamente com suas respectivas tecnologias e a classificação, quanto ao uso e à estima.

Tabela 7 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia da Pontualidade

| Ordem de Relevância | Código | Função (Verbo+Substantivo)     | Peso | GI      | Uso (U) /Estima (E) | Tecnologia  |
|---------------------|--------|--------------------------------|------|---------|---------------------|---|
| 1°                  | A      | Analisar dados                 | 60   | 8,46%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 2°                  | D      | Transmitir dados               | 58   | 8,18%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 3°                  | B      | Compartilhar dados             | 54   | 7,62%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 4°                  | J      | Processar comandos             | 48   | 6,77%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 5°                  | I      | Avaliar dados                  | 47   | 6,63%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 6°                  | R      | Buscar dados                   | 45   | 6,35%   | U                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 7°                  | Q      | Fornecer localização           | 42   | 5,92%   | E                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 8°                  | F      | Garantir estabilidade          | 39   | 5,50%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 9°                  | Y      | Compartilhar mensagem          | 37   | 5,22%   | U                   | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              |
| 10°                 | K      | Visualizar configurações       | 35   | 4,94%   | E                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 11°                 | G      | Converter variáveis            | 34   | 4,80%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 12°                 | P      | Fornecer opções produtivas     | 33   | 4,65%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 13°                 | O      | Apresentar comandos            | 32   | 4,51%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 14°                 | N      | Apresentar dados               | 29   | 4,09%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 15°                 | W      | Minerar dados                  | 26   | 3,67%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 16°                 | H      | Correlacionar variáveis        | 21   | 2,96%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 17°                 | M      | Avaliar espaço                 | 19   | 2,68%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 18°                 | L      | Alocar memória                 | 14   | 1,97%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 19°                 | C      | Converter linguagem            | 12   | 1,69%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 20°                 | X      | Modelar fenômenos              | 9    | 1,27%   | E                   | <i>Softwares</i> de simulação                             |
| 21°                 | V      | Selecionar dados               | 8    | 1,13%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 22°                 | U      | Monitorar transmissão de dados | 4    | 0,56%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 23°                 | T      | Monitorar conexões             | 2    | 0,28%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 24°                 | S      | Criptografar dados             | 1    | 0,14%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 25°                 | E      | Padronizar conexão             | 0    | 0,00%   | E                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| <b>Total</b>        |        |                                | 709  | 100,00% |                     |   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Subsequentemente, averiguou-se a importância de cada tecnologia, com base na soma do GI das funções notórias desempenhadas por elas, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica da Estratégia da Pontualidade

| <b>Ordem de Relevância</b> | <b>Tecnologia</b>   | <b>Peso</b> | <b>GI</b>      |
|----------------------------|---|-------------|----------------|
| 1°                         | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 130         | 18,34%         |
| 2°                         | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 126         | 17,77%         |
| 3°                         | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 97          | 13,68%         |
| 4°                         | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 94          | 13,26%         |
| 5°                         | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 87          | 12,27%         |
| 6°                         | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 55          | 7,76%          |
| 7°                         | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 37          | 5,22%          |
| 8°                         | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 34          | 4,80%          |
| 9°                         | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 33          | 4,65%          |
| 10°                        | <i>Softwares</i> de simulação                             | 9           | 1,27%          |
| 11°                        | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | 7           | 0,99%          |
| <b>Total</b>               |   | <b>709</b>  | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir destas informações, foi possível iniciar o processo de estruturação da coletânea tecnológica básica orientada à estratégia da pontualidade.

#### 4.4.4. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

O diagrama de Mudge, para a estratégia de competitividade da flexibilidade, foi elaborado neste trabalho no intuito de identificar o conjunto de funções das tecnologias da Quarta Revolução Industrial (Quadro 2), que favorecem a construção de um sistema de produção mais flexível.

Para isso, através da ferramenta, comparou-se e avaliou-se essas funções sob esta ótica, obtendo como resultado seus respectivos GI's e, conseqüentemente, identificando as funções mais relevantes para a flexibilidade produtiva dentre as funções notórias para as empresas manufatureiras, sendo este processo representado na Figura 40.

Figura 40 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

| A | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   | L   | M   | N   | O   | P   | Q   | R   | S   | T   | U   | V   | W   | X   | Y            | Peso | GI      |       |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|------|---------|-------|
| A | A 5 | A 5 | A 5 | A 5 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 1 | A 1 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3          | 76   | 10,05%  |       |
|   | B   | B 5 | D 1 | B 5 | B 3 | B 2 | B 2 | I 1 | J 1 | B 2 | B 1 | B 1 | B 1 | B 2 | B 2 | Q 1 | B 1 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 2 | B 3 | B 4          | 44   | 5,82%   |       |
|   |     | C   | D 3 | C 5 | F 3 | G 3 | H 1 | I 2 | J 2 | K 1 | L 1 | C 1 | N 1 | C 3 | C 3 | Q 4 | R 2 | C 3 | C 3 | C 3 | V 1 | W 1 | X 3 | Y 2          | 21   | 2,78%   |       |
|   |     |     | D   | D 5 | D 3 | D 3 | D 3 | D 1 | D 1 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3          | 65   | 8,60%   |       |
|   |     |     |     | E   | F 5 | G 5 | H 5 | I 5 | J 5 | K 5 | L 5 | M 5 | N 5 | O 5 | P 5 | Q 5 | R 5 | S 5 | T 5 | U 5 | V 5 | W 5 | X 5 | Y 5          | 0    | 0,00%   |       |
|   |     |     |     |     | F   | G 1 | F 2 | I 2 | J 2 | F 3 | F 3 | F 2 | F 2 | F 2 | F 1 | Q 2 | R 2 | F 1 | F 1 | F 2 | F 1 | F 1 | X 3 | Y 2          | 29   | 3,84%   |       |
|   |     |     |     |     |     | G   | G 2 | I 2 | J 2 | G 2 | G 2 | G 1 | G 1 | G 2 | G 1 | Q 1 | R 1 | G 3 | G 3 | G 3 | G 1 | G 1 | X 1 | Y 1          | 31   | 4,10%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     | H   | I 1 | J 1 | H 1 | H 1 | H 1 | H 1 | H 2 | H 1 | Q 1 | R 1 | H 3 | H 3 | H 3 | H 3 | H 3 | X 1 | Y 1          | 28   | 3,70%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     | I   | J 1 | I 2 | I 2 | I 2 | I 2 | I 2 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 2          | 52   | 6,88%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     | J   | J 2 | J 2 | J 2 | J 2 | J 2 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 2          | 53   | 7,01%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | K   | K 1 | K 1 | K 3 | K 3 | K 1 | Q 3 | R 2 | K 3 | K 3 | K 3 | V 3 | W 2 | X 2 | Y 1          | 24   | 3,17%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | L   | L 1 | L 3 | L 3 | L 1 | Q 3 | R 2 | L 3 | L 3 | L 3 | V 2 | W 2 | X 5 | Y 5          | 23   | 3,04%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | M   | N 3 | M 3 | M 1 | Q 3 | R 2 | M 3 | M 3 | M 3 | V 2 | W 2 | X 5 | Y 5          | 18   | 2,38%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | N   | N 3 | N 1 | Q 3 | R 2 | N 3 | N 3 | N 3 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1          | 22   | 2,91%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | O   | P 3 | Q 3 | R 2 | O 3 | O 3 | O 3 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1          | 14   | 1,85%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P   | Q 3 | R 2 | P 3 | P 3 | P 3 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1          | 17   | 2,25%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Q   | Q 2 | Q 3 | Q 3 | Q 3 | Q 1 | Q 1 | Q 1 | Q 3          | 49   | 6,48%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | R   | R 3 | R 3 | R 3 | R 3 | R 1 | X 1 | Y 1          | 36   | 4,76%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | S   | T 1 | U 1 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1          | 5    | 0,66%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | T   | U 1 | V 2 | W 2 | X 2          | Y 3  | 6       | 0,79% |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | U   | V 2 | W 2 | X 2          | Y 3  | 7       | 0,93% |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | V   | W 2 | X 2          | Y 3  | 25      | 3,31% |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | W   | X 2          | Y 3  | 26      | 3,44% |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X            | Y 4  | 42      | 5,56% |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Y            | 43   | 5,69%   |       |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | 756  | 100,00% |       |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para a visualização do *ranking* em ordem decrescente dessas funções notórias relacionadas à flexibilidade da produção, a Tabela 9 traz essas informações, juntamente com suas respectivas tecnologias e a classificação, quanto ao uso e à estima.

Tabela 9 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia da Flexibilidade

| Ordem de Relevância | Código | Função (Verbo+Substantivo)     | Peso | GI      | Uso (U) /Estima (E) | Tecnologia  |
|---------------------|--------|--------------------------------|------|---------|---------------------|---|
| 1°                  | A      | Analisar dados                 | 76   | 10,05%  | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 2°                  | D      | Transmitir dados               | 65   | 8,60%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 3°                  | J      | Processar comandos             | 53   | 7,01%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 4°                  | I      | Avaliar dados                  | 52   | 6,88%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 5°                  | Q      | Fornecer localização           | 49   | 6,48%   | E                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 6°                  | B      | Compartilhar dados             | 44   | 5,82%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 7°                  | Y      | Compartilhar mensagem          | 43   | 5,69%   | U                   | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              |
| 8°                  | X      | Modelar fenômenos              | 42   | 5,56%   | E                   | <i>Softwares</i> de simulação                             |
| 9°                  | R      | Buscar dados                   | 36   | 4,76%   | U                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 10°                 | G      | Converter variáveis            | 31   | 4,10%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 11°                 | F      | Garantir estabilidade          | 29   | 3,84%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 12°                 | H      | Correlacionar variáveis        | 28   | 3,70%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 13°                 | W      | Minerar dados                  | 26   | 3,44%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 14°                 | V      | Selecionar dados               | 25   | 3,31%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 15°                 | K      | Visualizar configurações       | 24   | 3,17%   | E                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 16°                 | L      | Alocar memória                 | 23   | 3,04%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 17°                 | N      | Apresentar dados               | 22   | 2,91%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 18°                 | C      | Converter linguagem            | 21   | 2,78%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 19°                 | M      | Avaliar espaço                 | 18   | 2,38%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 20°                 | P      | Fornecer opções produtivas     | 17   | 2,25%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 21°                 | O      | Apresentar comandos            | 14   | 1,85%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 22°                 | U      | Monitorar transmissão de dados | 7    | 0,93%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 23°                 | T      | Monitorar conexões             | 6    | 0,79%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 24°                 | S      | Criptografar dados             | 5    | 0,66%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 25°                 | E      | Padronizar conexão             | 0    | 0,00%   | E                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| <b>Total</b>        |        |                                | 756  | 100,00% |                     |   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Posteriormente, investigou-se a magnitude de cada tecnologia, com base na soma do GI dessas funções notórias desempenhadas por elas, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica Estratégia da Flexibilidade

| <b>Ordem de Relevância</b> | <b>Tecnologia</b>   | <b>Peso</b> | <b>GI</b>      |
|----------------------------|---|-------------|----------------|
| 1°                         | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 141         | 18,65%         |
| 2°                         | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 129         | 17,06%         |
| 3°                         | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 94          | 12,43%         |
| 4°                         | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 85          | 11,24%         |
| 5°                         | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 59          | 7,80%          |
| 6°                         | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 53          | 7,01%          |
| 7°                         | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 51          | 6,75%          |
| 8°                         | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 43          | 5,69%          |
| 9°                         | <i>Softwares</i> de simulação                             | 42          | 5,56%          |
| 10°                        | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 41          | 5,42%          |
| 11°                        | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | 18          | 2,38%          |
| <b>Total</b>               |   | <b>756</b>  | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir destas informações foi possível iniciar o processo de estruturação da coletânea tecnológica básica orientada à estratégia da flexibilidade.

#### 4.4.5. Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade do Custo

O diagrama de Mudge para a estratégia de competitividade do custo foi elaborado neste trabalho no intuito da descoberta do grupo de funções das tecnologias de estruturação de uma I4.0 (Quadro 2) que colaboram com a construção de um sistema de produção que despenda menores esforços.

Para isso, através da ferramenta, confrontou-se e avaliou-se essas funções sob esta ótica, obtendo como resultado seus respectivos GI's e, por consequência, identificando as funções mais relevantes para o custo produtivo dentre as funções notórias para as empresas de manufatura, sendo este processo representado na Figura 41.

Figura 41 - Diagrama de Mudge para a Estratégia de Competitividade do Custo

| A | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   | I   | J   | K   | L   | M   | N   | O   | P   | Q   | R   | S   | T   | U   | V   | W   | X   | Y   | Peso         | GI     |         |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|--------|---------|
| A | A 5 | A 5 | A 5 | A 5 | A 3 | A 3 | A 3 | A 1 | A 1 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | A 2 | A 2 | A 3 | A 3 | A 3 | A 3 | 74           | 10,05% |         |
|   | B   | B 5 | D 2 | B 5 | B 3 | B 2 | B 2 | I 1 | J 1 | B 2 | B 1 | B 1 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 3 | B 1 | B 1 | B 2 | B 2 | B 3 | B 4 | 52           | 7,07%  |         |
|   |     | C   | D 3 | C 5 | F 2 | G 3 | H 1 | I 2 | J 2 | K 1 | C 1 | C 1 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 3 | C 1 | C 1 | C 1 | C 1 | X 3 | Y 2 | 29           | 3,94%  |         |
|   |     |     | D   | D 5 | D 3 | D 3 | D 3 | D 1 | D 1 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | D 1 | D 1 | D 3 | D 3 | D 3 | D 3 | 62           | 8,42%  |         |
|   |     |     |     | E   | F 5 | G 5 | H 5 | I 5 | J 5 | K 5 | L 5 | M 5 | N 5 | O 5 | P 5 | Q 5 | R 5 | S 5 | T 5 | U 5 | V 5 | W 5 | X 5 | Y 5 | 0            | 0,00%  |         |
|   |     |     |     |     | F   | F 1 | F 2 | I 2 | J 2 | F 4 | F 3 | F 3 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 2 | F 1 | F 1 | X 3 | Y 2          | 38     | 5,16%   |
|   |     |     |     |     |     | G   | G 3 | I 3 | J 1 | K 1 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | G 2 | G 1 | G 1 | G 1 | G 1 | X 1 | Y 1 | 31           | 4,21%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     | H   | I 3 | J 1 | K 1 | H 2 | H 2 | H 2 | H 2 | H 2 | H 2 | H 2 | H 2 | H 1 | H 1 | H 3 | H 3 | X 1 | Y 1 | 30           | 4,08%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     | I   | I 1 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 3 | I 2          | 61     | 8,29%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     | J   | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 3 | J 2          | 56     | 7,61%   |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | K   | K 2 | K 5 | K 5 | K 3 | K 3 | K 3 | K 3 | K 1 | K 1 | K 1 | K 1 | K 1 | X 2 | Y 1 | 37           | 5,03%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | L   | L 2 | N 2 | O 2 | P 2 | Q 2 | R 2 | S 3 | T 3 | U 3 | V 2 | W 2 | X 5 | Y 5 | 7            | 0,95%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | M   | N 1 | O 2 | P 2 | Q 2 | R 2 | S 3 | T 3 | U 3 | V 2 | W 2 | X 5 | Y 5 | 5            | 0,68%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | N   | O 1 | P 1 | Q 1 | R 1 | S 1 | T 1 | U 1 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1 | 8            | 1,09%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | O   | P 1 | Q 1 | R 1 | S 1 | T 1 | U 1 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1 | 10           | 1,36%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | P   | P 3 | P 1 | S 1 | T 1 | U 1 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1 | 15           | 2,04%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Q   | R 1 | S 1 | T 1 | U 1 | V 1 | W 1 | X 1 | Y 3 | 11           | 1,49%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | R   | S 1 | T 1 | U 1 | V 3 | W 1 | X 1 | Y 1 | 12           | 1,63%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | S   | T 3 | U 4 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 1 | 16           | 2,17%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | T   | U 3 | V 2 | W 2 | X 2 | Y 3 | 19           | 2,58%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | U   | V 2 | W 2 | X 2 | Y 3 | 23           | 3,13%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | V   | W 3 | X 2 | Y 3 | 25           | 3,40%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | W   | X 2 | Y 3 | 26           | 3,53%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | X   | Y 4 | 43           | 5,84%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Y   | 46           | 6,25%  |         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | 736    | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.



Para a visualização do *ranking* em ordem decrescente dessas funções notórias relacionadas ao custo da produção, a Tabela 11 traz essas informações, juntamente com suas respectivas tecnologias e a classificação, quanto ao uso e a estima.

Tabela 11 - Hierarquização das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Sob a Ótica da Estratégia do Custo

| Ordem de Relevância | Código | Função (Verbo+Substantivo)     | Peso | GI      | Uso (U) /Estima (E) | Tecnologia  |
|---------------------|--------|--------------------------------|------|---------|---------------------|---|
| 1°                  | A      | Analisar dados                 | 74   | 10,05%  | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 2°                  | D      | Transmitir dados               | 62   | 8,42%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 3°                  | I      | Avaliar dados                  | 61   | 8,29%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 4°                  | J      | Processar comandos             | 56   | 7,61%   | U                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 5°                  | B      | Compartilhar dados             | 52   | 7,07%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 6°                  | Y      | Compartilhar mensagem          | 46   | 6,25%   | U                   | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              |
| 7°                  | X      | Modelar fenômenos              | 43   | 5,84%   | E                   | <i>Softwares</i> de simulação                             |
| 8°                  | F      | Garantir estabilidade          | 38   | 5,16%   | U                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| 9°                  | K      | Visualizar configurações       | 37   | 5,03%   | E                   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   |
| 10°                 | G      | Converter variáveis            | 31   | 4,21%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 11°                 | H      | Correlacionar variáveis        | 30   | 4,08%   | U                   | <i>Hardwares</i> de sensores                              |
| 12°                 | C      | Converter linguagem            | 29   | 3,94%   | U                   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                |
| 13°                 | W      | Mínerar dados                  | 26   | 3,53%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 14°                 | V      | Selecionar dados               | 25   | 3,40%   | U                   | <i>Softwares</i> de análise de dados                      |
| 15°                 | U      | Monitorar transmissão de dados | 23   | 3,13%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 16°                 | T      | Monitorar conexões             | 19   | 2,58%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 17°                 | S      | Criptografar dados             | 16   | 2,17%   | U                   | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> |
| 18°                 | P      | Fornecer opções produtivas     | 15   | 2,04%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 19°                 | R      | Buscar dados                   | 12   | 1,63%   | U                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 20°                 | Q      | Fornecer localização           | 11   | 1,49%   | E                   | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     |
| 21°                 | O      | Apresentar comandos            | 10   | 1,36%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 22°                 | N      | Apresentar dados               | 8    | 1,09%   | E                   | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               |
| 23°                 | L      | Alocar memória                 | 7    | 0,95%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 24°                 | M      | Avaliar espaço                 | 5    | 0,68%   | U                   | <i>Hardwares</i> de servidores                            |
| 25°                 | E      | Padronizar conexão             | 0    | 0,00%   | E                   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        |
| <b>Total</b>        |        |                                | 736  | 100,00% |                     |   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Posteriormente, verificou-se a relevância de cada tecnologia, com base na soma do GI dessas funções notórias desempenhadas por elas, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Hierarquização das Tecnologias Sob a Ótica da Estratégia do Custo

| <b>Ordem de Relevância</b> | <b>Tecnologia</b>   | <b>Peso</b> | <b>GI</b> |
|----------------------------|---|-------------|-----------|
| 1º                         | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 155         | 21,06%    |
| 2º                         | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 154         | 20,92%    |
| 3º                         | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 100         | 13,59%    |
| 4º                         | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 61          | 8,29%     |
| 5º                         | <i>Softwares</i> de detecção de dados, fraudes e invasões | 58          | 7,88%     |
| 6º                         | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 51          | 6,93%     |
| 7º                         | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 46          | 6,25%     |
| 8º                         | <i>Softwares</i> de simulação                             | 43          | 5,84%     |
| 9º                         | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 33          | 4,48%     |
| 10º                        | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 23          | 3,13%     |
| 11º                        | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 12          | 1,63%     |
| <b>Total</b>               |   | 736         | 100,00%   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir destas informações, foi possível iniciar o processo de estruturação da coletânea tecnológica básica orientada à estratégia do custo.

#### 4.5 5ª FASE - ESTRUTURAÇÃO DAS COLETÂNEAS TECNOLÓGICAS BASE ORIENTADAS POR ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE

Com as tecnologias de estruturação da I4.0 hierarquizadas por estratégia competitiva, a fase seguinte de construção do modelo consiste na determinação das coletâneas tecnológicas base que respeitam os princípios da interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação, modularização e orientação a serviços.

Para isso, primeiramente buscou-se identificar um conjunto tecnológico universal a essas coletâneas e que represente os fundamentos básicos da MA com base na execução das funcionalidades notórias das tecnologias para seus consumidores (i.e. empresas manufatureiras). Afinal, é para esse grupo de indivíduos que os princípios de estruturação da I4.0 precisa ser aparente, uma vez que, eles são os agentes responsáveis pelo progresso da revolução tecnológica em questão, vide seção 1.1.

Desta maneira, para determinar esse conjunto tecnológico básico representante dos princípios de concepção da MA, entendeu-se que:

- Para atender o princípio da interoperabilidade, as funções “compartilhar dados”, “transmitir dados”, “padronizar conexão” e “garantir estabilidade” precisam ser realizadas pelo *CPPS*;
- Para cumprir o princípio da virtualização, as funções “analisar dados”, “converter linguagem”, “converter variáveis”, “correlacionar variáveis”, “processar comandos”, “visualizar configurações”, “apresentar dados” e “apresentar comandos” têm de ser executadas pelo *CPPS*;
- Para respeitar o princípio da descentralização, as funções “analisar dados”, “converter variáveis”, “correlacionar variáveis”, “avaliar dados”, “processar comandos” e “fornecer opções produtivas” necessitam ser realizada pelo *CPPS*;
- Para atender o princípio da adaptação, as funções “analisar dados”, “converter variáveis”, “correlacionar variáveis”, “avaliar dados”, “alocar memória”, “fornecer opções produtivas”, “selecionar dados” e “minerar dados” precisam ser executadas pelos *CPPS*;
- Para cumprir o princípio da modularização, as funções “analisar dados”, “padronizar conexão”, “avaliar espaço”, “fornecer opções produtivas” e “selecionar dados” necessitam ser realizadas pelos *CPPS*;
- Para respeitar o princípio da orientação a serviço, a função “fornecer opções produtivas” tem que ser executada pelo *CPPS*; e
- As funções “compartilhar mensagem”, “fornecer localização”, “buscar dados”, “modelar fenômenos”, “criptografar dados”, “monitorar configurações” e “monitorar transmissões” colaboram o fortalecimento destes princípios, porém não são fundamentais para as suas representações.

Assim, o Quadro 4 traz as informações sobre as funções e tecnologias fundamentais e auxiliares para cada um dos seis princípios de estruturação da I4.0.

Quadro 4 - Funções e Tecnologias Fundamentais e Auxiliares para os Princípios de Concepção da I4.0

| <b>Princípios</b>   | <b>Funções Auxiliares (Verbo + Substantivo)</b> | <b>Tecnologias Auxiliares</b>                             | <b>Funções Fundamentais (Verbo + Substantivo)</b> | <b>Tecnologias Fundamentais</b>             |
|---------------------|---|---|---|---|
| Interoperabilidade  | Não Possui                                      | Não Possui  | Compartilhar dados                                | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas  |
|                     |   |   | Transmitir dados                                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede          |
|                     |   |   | Padronizar conexão                                |   |
|                     |   |   | Garantir estabilidade                             |   |
| Virtualização       | Compartilhar mensagem                           | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | Analisar dados                                    | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas  |
|                     | Fornecer localização                            | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | Converter linguagem                               | <i>Hardwares</i> de sensores                |
|                     | Buscar dados                                    |   | Converter variáveis                               |   |
|                     | Modelar fenômenos                               | <i>Softwares</i> de simulações                            | Correlacionar variáveis                           |   |
|                     | Criptografar dados                              | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | Processar comandos                                | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis     |
|                     | Monitorar conexões                              |   | Visualizar configurações                          |   |
|                     | Monitorar transmissões de dados                 |   | Apresentar dados                                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina |
| Apresentar comandos |   |   |   |   |
| Descentralização    | Compartilhar mensagem                           | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | Analisar dados                                    | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas  |
|                     |   |   | Converter variáveis                               | <i>Hardwares</i> de sensores                |
|                     | Fornecer localização                            | Correlacionar variáveis                                   |   |   |
|                     |   | Avaliar dados   | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis           |   |
|                     | Buscar dados                                    | Processar comandos  |   |   |
| Modelar fenômenos   | <i>Softwares</i> de simulações                  | Fornecer opções produtivas                                | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina       |   |
| Adaptação           | Compartilhar mensagem                           | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | Analisar dados                                    | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas  |
|                     |   |   | Converter variáveis                               | <i>Hardwares</i> de sensores                |
|                     | Fornecer localização                            | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | Correlacionar variáveis                           |   |
|                     |   |   | Avaliar dados                                     |   |
|                     | Buscar dados                                    |   | Alocar memória                                    | <i>Hardwares</i> de servidores              |
|                     |   | Fornecer opções produtivas                                | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina       |   |
|                     | Modelar fenômenos                               | <i>Softwares</i> de simulações                            | Selecionar dados                                  | <i>Softwares</i> de análise de dados        |
| Minerar dados       |   |   |   |   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 4 - Funções e Tecnologias Fundamentais e Auxiliares para os Princípios de Concepção da I4.0 -  
Continuação

| Princípios            | Funções Auxiliares (Verbo + Substantivo) | Tecnologias Auxiliares                       | Funções Fundamentais (Verbo + Substantivo) | Tecnologias Fundamentais                    |
|-----------------------|--|--|--|---|
| Modularização         | Modelar fenômenos                        | <i>Softwares</i> de simulações               | Analisar dados                             | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas  |
|                       |  |  | Padronizar conexão                         | <i>Hardwares</i> de conexão à rede          |
|                       |  |  | Avaliar espaço                             | <i>Hardwares</i> de servidores              |
|                       |  |  | Fornecer opções produtivas                 | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina |
|                       |  |  | Selecionar dados                           | <i>Hardwares</i> de análise de dados        |
| Orientação a serviços | Compartilhar mensagem                    | <i>Softwares</i> de comunicação e informação | Fornecer opções produtivas                 | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina |
|                       | Modelar fenômenos                        | <i>Softwares</i> de simulações               |  |   |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir da análise das funções fundamentais para o atendimento de cada princípio de concepção da I4.0 e suas respectivas tecnologias, compreendeu-se que o conjunto tecnológico básico que representa esses fundamentos é composto pelas tecnologias de *hardwares* de máquinas colaborativas, *hardwares* de conexão à rede, *hardwares* de dispositivos móveis, *hardwares* de sensores, *hardwares* de servidores, *softwares* de interface homem-máquina e *softwares* de análise de dados, enquanto as demais tecnologias investigadas têm um papel de auxiliar esses princípios.

Com esse conjunto definido, a determinação das coletâneas tecnológicas base orientadas por estratégia competitiva será estabelecida através da seleção ordenada das tecnologias já hierarquizadas por estratégias, conforme a seção 4.4, que contemplarem todas as tecnologias presentes nesse conjunto tecnológico básico representante dos princípios.

Desta forma, as próximas subseções tratarão de representar esse processo de definição das coletâneas tecnológicas base para a composição do *CPPS* orientadas a cada uma das cinco estratégias de competitividade, sendo estas o resultado final esperado para o modelo proposto.

#### 4.5.1. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade

Para a definição da coletânea tecnológica base para a composição do *CPPS* orientada a estratégia da qualidade, volta-se a atenção para a hierarquização das tecnologias de maior relevância para esta estratégia (Tabela 4) e o conjunto tecnológico básico representante dos princípios de estruturação da MA (Quadro 4) e, a partir destas duas informações, seleciona-se o conjunto ordenado de tecnologias que representar prioritariamente esses princípios, conforme a Tabela 13 apresenta.

Tabela 13 - Definição da Composição Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade

| Ordem de Relevância | Tecnologia  | Peso | GI      | Componente do <i>CPPS</i> |
|---------------------|---|------|---------|---------------------------|
| 1°                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 179  | 20,16%  | Sim                       |
| 2°                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 142  | 15,99%  | Sim                       |
| 3°                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 135  | 15,20%  | Sim                       |
| 4°                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 95   | 10,70%  | Sim                       |
| 5°                  | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 83   | 9,35%   | Sim                       |
| 6°                  | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 83   | 9,35%   | Sim                       |
| 7°                  | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 74   | 8,33%   | Sim                       |
| 8°                  | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 62   | 6,98%   | Não                       |
| 9°                  | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | 32   | 3,60%   | Não                       |
| 10°                 | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 3    | 0,34%   | Não                       |
| 11°                 | <i>Softwares</i> de simulação                             | 0    | 0,00%   | Não                       |
| <b>Total</b>        |   | 888  | 100,00% |                           |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Diante disto, sabe-se que para organizar um *CPPS* orientado à estratégia competitiva da qualidade é preciso prioritariamente possuir em sua composição as tecnologias de *hardwares* de dispositivos móveis, *hardwares* de máquinas colaborativas, *softwares* de interface homem-máquina, *hardwares* de conexão à rede, *hardwares* de sensores, *softwares* de análise de dados e *hardwares* de servidores, ou seja, dispor de todas as tecnologias básicas representantes dos princípios da MA.

#### 4.5.2. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

Para a definição da coletânea tecnológica base para a composição do *CPPS* orientada a estratégia da velocidade, atenta-se para a hierarquização das tecnologias de maior relevância para esta estratégia (Tabela 6) e novamente para o conjunto tecnológico básico representante

dos princípios de estruturação da MA (Quadro 4), e a partir destas duas informações seleciona-se o conjunto ordenado de tecnologias que representar prioritariamente esses princípios, conforme a Tabela 14 expõe.

Tabela 14 - Definição da Composição Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

| Ordem de Relevância | Tecnologia  | Peso | GI      | Componente do <i>CPPS</i> |
|---------------------|---|------|---------|---------------------------|
| 1º                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 206  | 23,84%  | Sim                       |
| 2º                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 195  | 22,57%  | Sim                       |
| 3º                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 170  | 19,68%  | Sim                       |
| 4º                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 91   | 10,53%  | Sim                       |
| 5º                  | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 69   | 7,99%   | Sim                       |
| 6º                  | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 37   | 4,28%   | Sim                       |
| 7º                  | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 36   | 4,17%   | Sim                       |
| 8º                  | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 23   | 2,66%   | Sim                       |
| 9º                  | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | 20   | 2,31%   | Não                       |
| 10º                 | <i>Softwares</i> de simulação                             | 9    | 1,04%   | Não                       |
| 11º                 | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 8    | 0,93%   | Não                       |
| <b>Total</b>        |   | 864  | 100,00% |                           |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Logo, compreende-se que para organizar um *CPPS* orientado à estratégia competitiva da velocidade é necessário prioritariamente dispor em sua composição as tecnologias de *hardwares* de máquinas colaborativas, *hardwares* de dispositivos móveis, *hardwares* de conexão à rede, *softwares* de interface homem-máquina, *hardwares* de sensores, *softwares* de análise de dados, *softwares* de comunicação e informação e *hardwares* de servidores, ou seja, possuir todas as tecnologias básicas representantes da estratégia da qualidade mais os *softwares* de comunicação e informação.

#### 4.5.3. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade

Para a definição da coletânea tecnológica base para a composição do *CPPS* orientada à estratégia da pontualidade, observa-se a hierarquização das tecnologias de maior relevância para esta estratégia (Tabela 8) e mais uma vez o conjunto tecnológico básico representante dos princípios de estruturação da MA (Quadro 4), e a partir destas duas informações seleciona-se o conjunto ordenado de tecnologias que representar prioritariamente esses princípios, conforme a Tabela 15 exhibe.

Tabela 15 - Definição da Composição Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade

| Ordem de Relevância | Tecnologia  | Peso | GI      | Componente do <i>CPPS</i> |
|---------------------|---|------|---------|---------------------------|
| 1º                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 130  | 18,34%  | Sim                       |
| 2º                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 126  | 17,77%  | Sim                       |
| 3º                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 97   | 13,68%  | Sim                       |
| 4º                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 94   | 13,26%  | Sim                       |
| 5º                  | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 87   | 12,27%  | Sim                       |
| 6º                  | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 55   | 7,76%   | Sim                       |
| 7º                  | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 37   | 5,22%   | Sim                       |
| 8º                  | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 34   | 4,80%   | Sim                       |
| 9º                  | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 33   | 4,65%   | Sim                       |
| 10º                 | <i>Softwares</i> de simulação                             | 9    | 1,27%   | Não                       |
| 11º                 | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | 7    | 0,99%   | Não                       |
| <b>Total</b>        |   | 709  | 100,00% |                           |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Portanto, percebe-se que para organizar um *CPPS* orientado à estratégia competitiva da Pontualidade requer prioritariamente dispor em sua composição as tecnologias de *hardwares* de dispositivos móveis, *hardwares* de máquinas colaborativas, *hardwares* de conexão à rede, *softwares* de interface homem-máquina, *softwares* de detecção e localização de objetos, *hardwares* de sensores, *softwares* de comunicação e informação, *softwares* de análise de dados e *hardwares* de servidores, ou seja, possuir todas as tecnologias básicas representantes da estratégia da velocidade mais os *softwares* de detecção e localização de objetos.

#### 4.5.4. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

Para a definição da coletânea tecnológica base para a composição do *CPPS* orientada a estratégia da flexibilidade, analisa-se a hierarquização das tecnologias de maior relevância para esta estratégia (Tabela 10) e outra vez o conjunto tecnológico básico representante dos princípios de estruturação da MA (Quadro 4), e a partir destas duas informações seleciona-se o conjunto ordenado de tecnologias que representar prioritariamente esses princípios, conforme a Tabela 16 expõe.



Tabela 16 - Definição da Composição Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

| <b>Ordem de Relevância</b> | <b>Tecnologia</b>   | <b>Peso</b> | <b>GI</b>      | <b>Componente do CPPS</b> |
|----------------------------|---|-------------|----------------|---------------------------|
| 1°                         | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 141         | 18,65%         | Sim                       |
| 2°                         | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 129         | 17,06%         | Sim                       |
| 3°                         | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 94          | 12,43%         | Sim                       |
| 4°                         | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 85          | 11,24%         | Sim                       |
| 5°                         | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 59          | 7,80%          | Sim                       |
| 6°                         | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 53          | 7,01%          | Sim                       |
| 7°                         | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 51          | 6,75%          | Sim                       |
| 8°                         | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 43          | 5,69%          | Sim                       |
| 9°                         | <i>Softwares</i> de simulação                             | 42          | 5,56%          | Sim                       |
| 10°                        | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 41          | 5,42%          | Sim                       |
| 11°                        | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | 18          | 2,38%          | Não                       |
| <b>Total</b>               |   | <b>756</b>  | <b>100,00%</b> |                           |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em face do exposto, sabe-se que para organizar um *CPPS* orientado à estratégia competitiva da flexibilidade é preciso prioritariamente possuir em sua composição as tecnologias de *hardwares* de máquinas colaborativas, *hardwares* de dispositivos móveis, *hardwares* de conexão à rede, *softwares* de detecção e localização de objetos, *hardwares* de sensores, *softwares* de interface homem-máquina, *softwares* de análise de dados, *softwares* de comunicação e informação, *softwares* de simulação e *hardwares* de servidores, ou seja, dispor de todas as tecnologias básicas representantes da estratégia da pontualidade mais os *softwares* de simulação.

#### 4.5.5. Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo

Para a definição da coletânea tecnológica base para a composição do *CPPS* orientada a estratégia do custo, atenta-se para a hierarquização das tecnologias de maior relevância para esta estratégia (Tabela 12) e novamente para o conjunto tecnológico básico representante dos princípios de estruturação da MA (Quadro 4), e a partir destas duas informações seleciona-se o conjunto ordenado de tecnologias que representar prioritariamente esses princípios, conforme a Tabela 17 apresenta.

Tabela 17 - Definição da Composição Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo

| Ordem de Relevância | Tecnologia  | Peso       | GI             | Componente do <i>CPPS</i> |
|---------------------|---|------------|----------------|---------------------------|
| 1º                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | 155        | 21,06%         | Sim                       |
| 2º                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | 154        | 20,92%         | Sim                       |
| 3º                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | 100        | 13,59%         | Sim                       |
| 4º                  | <i>Hardwares</i> de sensores                              | 61         | 8,29%          | Sim                       |
| 5º                  | <i>Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões</i> | 58         | 7,88%          | Sim                       |
| 6º                  | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | 51         | 6,93%          | Sim                       |
| 7º                  | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | 46         | 6,25%          | Sim                       |
| 8º                  | <i>Softwares</i> de simulação                             | 43         | 5,84%          | Sim                       |
| 9º                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina               | 33         | 4,48%          | Sim                       |
| 10º                 | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos     | 23         | 3,13%          | Sim                       |
| 11º                 | <i>Hardwares</i> de servidores                            | 12         | 1,63%          | Sim                       |
| <b>Total</b>        |   | <b>736</b> | <b>100,00%</b> |                           |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

De acordo com o resultado, sabe-se que para organizar um *CPPS* orientado à estratégia competitiva do custo é necessário prioritariamente possuir em sua composição as tecnologias de *hardwares* de máquinas colaborativas, *hardwares* de dispositivos móveis, *hardwares* de conexão à rede, *hardwares* de sensores, *Softwares* de detecção de dados, fraudes e invasões, *softwares* de análise de dados, *softwares* de comunicação e informação, *softwares* de simulação, *softwares* de interface homem-máquina *softwares* de detecção e localização de objetos e *hardwares* de servidores, ou seja, dispor de todas as tecnologias básicas representantes da estratégia da flexibilidade mais os *Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões*.

#### 4.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Ao concluir o capítulo, percebe-se que a concepção de cada uma das fases de desenvolvimento do modelo proposto possui a característica de interdependência, ou seja, o resultado da fase anterior é o pré-requisito inicial para o desenvolvimento da fase posterior até a obtenção do resultado final, não sendo possível executá-las paralelamente.

Desta forma, para alcançar o objetivo inicial de “estabelecer a correlação entre as funções das tecnologias que compõe a I4.0 e as estratégias de competitividade da empresa” foi preciso realizar a concepção sequencial das quatro primeiras fases de desenvolvimento do modelo. Certa vez que, ao realizar a decomposição funcional de cada tecnologia da Quarta Revolução Industrial foi a condição inicial para o reconhecimento dos propósitos de serventia dessas tecnologias para as empresas manufatureiras, bem como compreensão do senso que

elas possuem sobre estes dispositivo foi proveniente do agrupamento e classificação funcional, de modo que, com estes resultados preliminares foi possível realizar a mensuração do desempenho das funções frente às estratégias de competitividade, através de sua hierarquização, em um processo comparativo aos pares conforme a diferença de relevância constatada entre elas para cada estratégia. Sendo este processo o responsável pela determinação da relação de correspondência desejada, fruto do primeiro objetivo, ao mesmo tempo, que a conclusão desta quarta fase trouxe à tona o segundo objetivo específico de “determinar os índices mínimos de desempenho das funções por estratégia de competitividade”.

Já a concepção da última fase de desenvolvimento do modelo, conduziu a delimitação das funções que representam os princípios da interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação, modularização e orientação a serviços, princípios esses, requisitos para a composição de um ambiente de I4.0. Logo, com a delimitação dessas funcionalidades resultou-se na conquista do penúltimo objetivo de “estabelecer o equilíbrio das funções da manufatura no ambiente de I4.0” e por consequência determinou-se o conjunto tecnológico básico representante destes princípios. Com o suporte desse conjunto tecnológico foi possível estipular o fator de corte para definição das coletâneas tecnológicas base para composição de *CPPS* que representam cada uma das estratégias de competitividade (i.e. o último objetivo específico) e para isso, foi necessário selecionar ordenadamente as tecnologias hierarquizadas por estratégia, obtidas na fase anterior, que contemplavam todas as tecnologias presentes nesse conjunto tecnológico básico, conquistando-se assim o último objeto, de modo que objetivo geral do trabalho também era galgado neste instante (i.e. é desenvolver um modelo de inserção das tecnologias da Quarta Revolução Industrial alinhadas com a manufatura e as estratégias de competitividade da empresa).

Desta maneira, pode-se dizer que tanto a escolha do instrumento de intervenção, quanto à estrutura metodológica desenvolvida para a construção do modelo são capazes de resolver o problema de pesquisa, tendo em vista a proximidade entre os resultados obtidos e os planejados, porém uma investigação mais aprofundada das coletâneas tecnológicas base encontradas e um estudo de caso serão realizados nos próximos capítulos. Estas investigações têm por finalidade, identificar se o conjunto de funções desempenhadas por essas coletâneas tecnológicas representam as estratégias que as norteiam e avaliar os resultados práticos do modelo, sob a ótica da evolução funcional e do desenvolvimento das vantagens competitivas para uma empresa de manufatura.



## **CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DO MODELO**

Este capítulo é reservado à análise funcional e a discussão dos aspectos estruturais do modelo proposto.

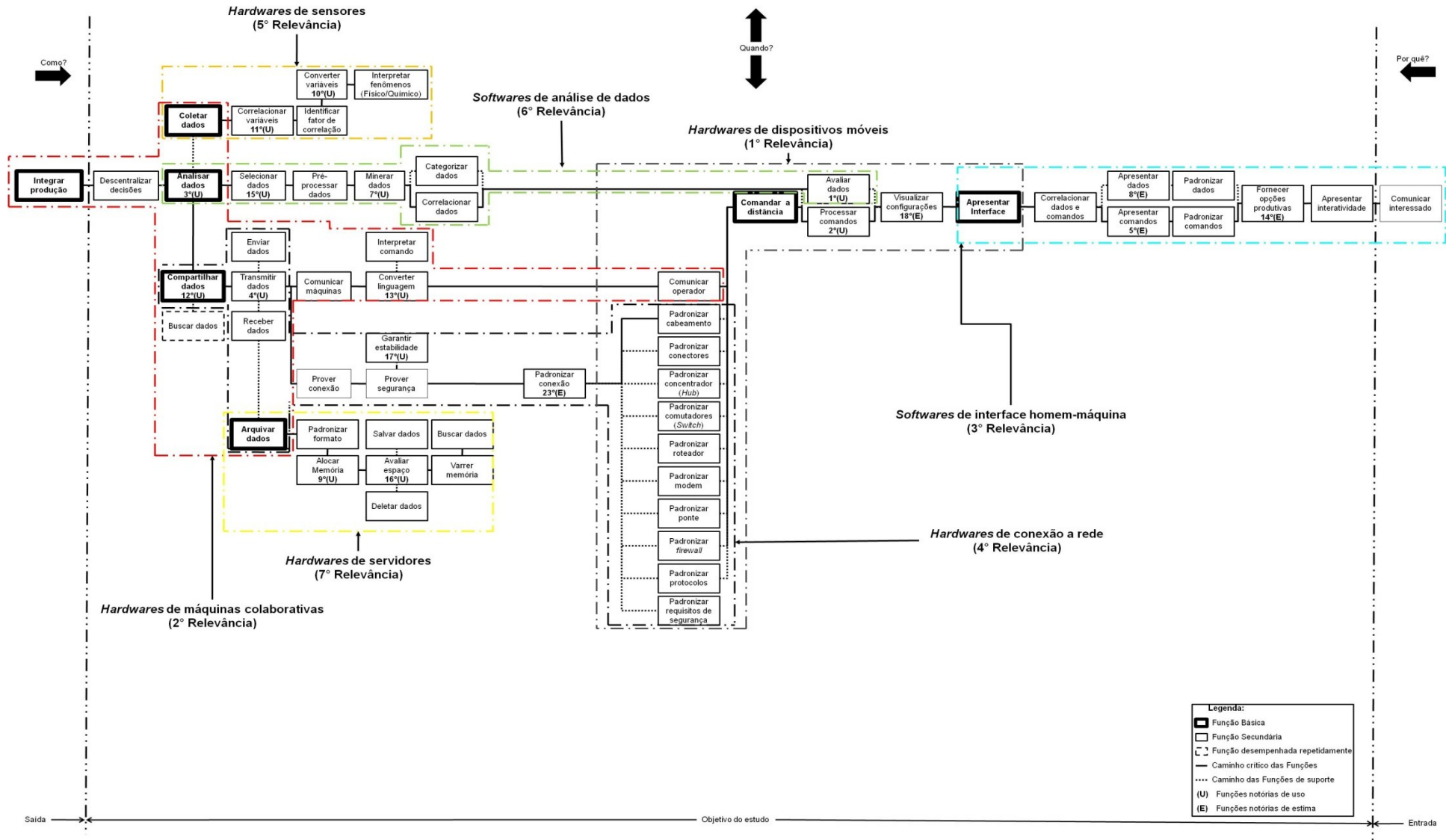
### **5.1. 1ª FASE - ANÁLISE FUNCIONAL DO MODELO**

A análise funcional das coletâneas tecnológicas base encontradas é realizada neste momento na intenção de investigar se as aplicações dessas tecnologias em conjunto. Esta investigação só é possível, graças à visão funcional sistêmica proporcionada pelo diagrama de *FAST*, enquanto o agrupamento de *FAST* e taxonomia da AV proporcionarão a compreensão do senso que as empresas manufatureiras possuem sobre essas coletâneas e suas funções, trazendo para o trabalho neste momento, uma visão globalizada dessas estruturas tecnológicas por meio da AV.

#### **5.1.1. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do CPPS Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade**

A partir decomposição funcional dos dispositivos tecnológicos, realizada através dos diagramas de *FAST* no capítulo anterior, obtiveram-se as estruturas funcionais dessas tecnologias que compõe as coletâneas base orientadas as estratégias de competitividade. Desta maneira, a representação sistêmica na forma de “árvore funcional” do CPPS orientado à estratégia da qualidade é realizada neste momento, através da junção dos diagramas de *FAST* das tecnologias que o compõe, conforme a Figura 42 apresenta.

Figura 42 - Diagrama FAST para Representação da Coletânea Tecnológica Base do CPPS Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 5 – Classificação e a Posição no Diagrama de *FAST* das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade

| Ordem de Relevância das Funções | Função (Substantivo+Verbo) | Classificação da Função      |                       | Posição da Função no Diagrama de <i>FAST</i> do <i>CPPS</i>                |                                    |                                     |   |  |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
|                                 |                            | Básica (B) ou Secundária (S) | Uso (U) ou Estima (E) | Caminho Crítico das Tecnologias (CT), do <i>CPPS</i> (CC) ou de Suporte(S) | Exclusiva (E) ou Compartilhada (C) | Ordem de Relevância das Tecnologias | Tecnologia                                  | Tecnologias que Compartilham a Função      |
| 1°                              | Avaliar dados              | S                            | U                     | S  | C                                  | 1°                                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis     | <i>Softwares</i> de análise de dados       |
| 2°                              | Processar comandos         | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 18°                             | Visualizar configurações   | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 3°                              | Analisar dados             | S/B                          | U                     | CC   | C                                  | 2°                                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas  | <i>Softwares</i> de análise de dados       |
| 12°                             | Compartilhar dados         | S/B                          | U                     | CC   | C                                  |                                     |   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede         |
| 13°                             | Converter linguagem        | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 8°                              | Apresentar dados           | S                            | E                     | S  | E                                  | 3°                                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina | Não Possui                                 |
| 5°                              | Apresentar comandos        | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 14°                             | Fornecer opções produtivas | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 4°                              | Transmitir dados           | S                            | U                     | CC   | C                                  | 4°                                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede          | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas |
| 23°                             | Padronizar conexão         | S                            | E                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 17°                             | Garantir estabilidade      | S                            | U                     | S  | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 10°                             | Converter variáveis        | S                            | U                     | CT   | E                                  | 5°                                  | <i>Hardwares</i> de sensores                | Não Possui                                 |
| 11°                             | Correlacionar variáveis    | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 15°                             | Selecionar dados           | S                            | U                     | CT   | E                                  | 6°                                  | <i>Softwares</i> de análise de dados        | Não Possui                                 |
| 7°                              | Minerar dados              | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 9°                              | Alocar memória             | S                            | U                     | CT   | E                                  | 7°                                  | <i>Hardwares</i> de servidores              | Não Possui                                 |
| 16°                             | Avaliar espaço             | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Mediante esta representação é possível encontrar as funções básicas, secundárias, exclusivas e compartilhadas das tecnologias, como também os “caminhos críticos”, de apoio e os limites na estrutura funcional de cada tecnologia, além das funções de entrada, saída e o “caminho crítico” para esse sistema, ou seja, o conjunto de funções presente nos “caminhos críticos” de cada tecnologia que interliga a função de entrada à de saída do *CPPS*, representando deste modo a essência de sua operação.

Logo, a função de entrada do *CPPS* orientado à qualidade pode ser descrita como “comunicar interessado”, enquanto a função de saída é representada por “integrar a produção” e para que essa função ocorra é preciso justamente que “comunicar o interessado” aconteça para que então as demais funções como: “apresentar interatividade”, “fornecer opções produtivas”, “padronizar comandos”, “apresentar comandos”, “correlacionar dados e comandos”, “visualizar configurações”, “processar comandos”, “comandar a distância”, “comunicar operador”, “converter linguagem”, “comunicar máquinas”, “transmitir dados”, “compartilhar dados”, “analisar dados” e “descentralizar decisões” sucedam-se e finalmente “integrar a produção” manifeste-se. Assim, este o conjunto de 19 funções pode ser descrito como integrantes dos “caminhos críticos” das tecnologias de *hardwares* de máquinas colaborativas, *hardwares* de conexão à rede, *hardwares* de dispositivos móveis e *softwares* de interface de homem-máquina e também componentes do “caminho crítico” para o *CPPS* em questão.

Além disso, todas as tecnologias constituintes desse sistema têm o seu papel na integração produtiva, fato este, que pode ser identificado através da análise das funções básicas de cada dispositivo tecnológico incorporado, pois são essas as funções que representam os fundamentos de existência, não apenas das tecnologias, mas de todo o *CPPS* em si, enquanto as funções notórias para as empresas de manufatura retratam as exigências desse grupo para a implantação de uma I4.0 orientada a estratégia em foco, vide Quadro 5.

Desta forma, com base nesse conjunto de funções notórias é possível compreender que estas funções representam além do senso de qualidade na MA, os princípios fundamentais de concepção da mesma, ou seja, a implementação do conjunto tecnológico básico representante dos fundamentos de interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação, modularização e orientação a serviços, traz consigo a percepção da qualidade na produção para as empresas manufatureiras.



### 5.1.2. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

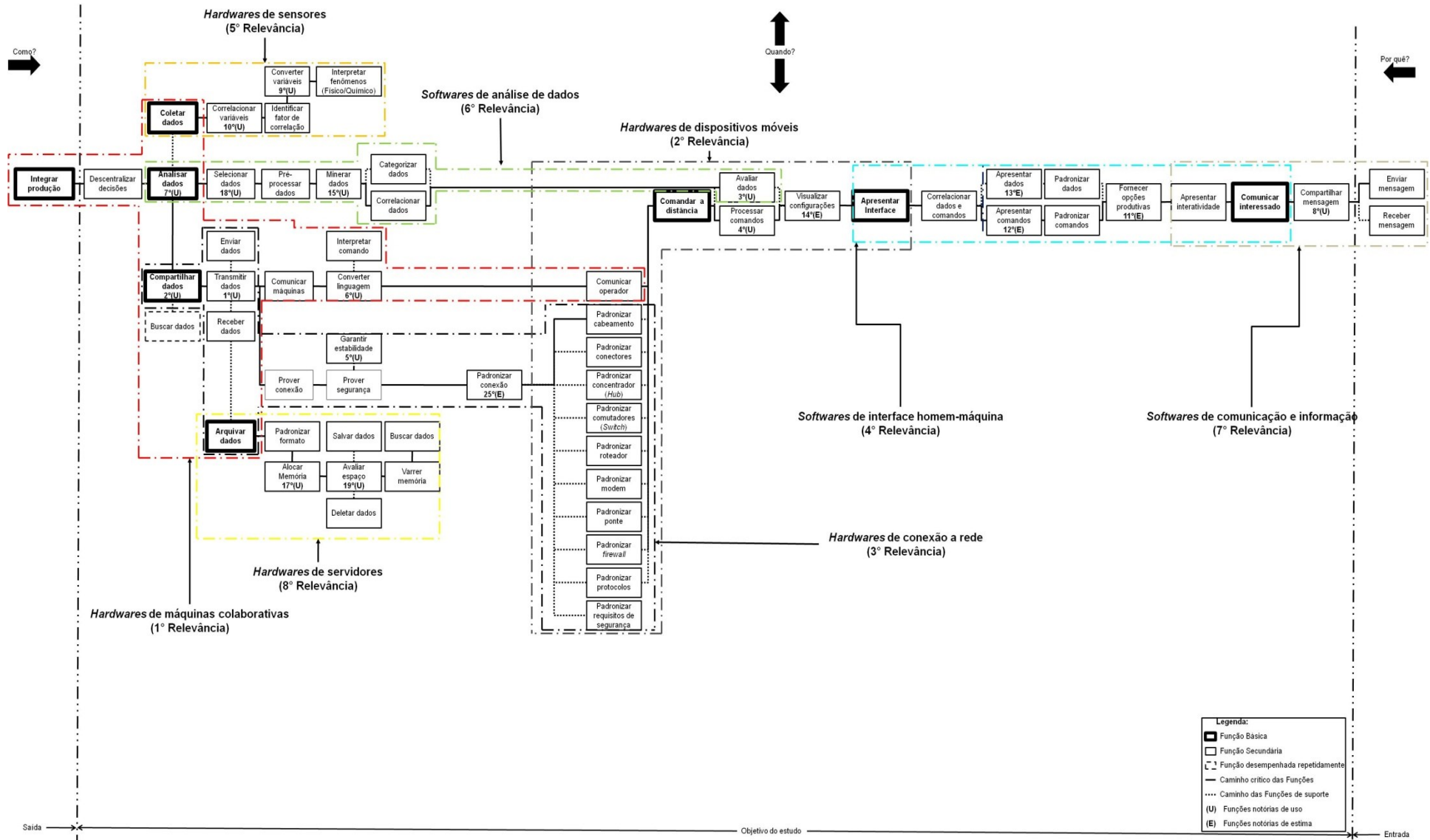
Da mesma forma que o diagrama de *FAST* do *CPPS* orientado à estratégia da qualidade foi constituído, o presente diagrama seguirá a lógica de união dos diagramas de *FAST* das tecnologias que o compõe, conforme a Figura 43 apresenta.

Sabe-se ainda que a partir desta representação é possível identificar as funções básicas, secundárias, exclusivas e compartilhadas das tecnologias, como também os “caminhos críticos”, de apoio e os limites na estrutura funcional de cada tecnologia, além das funções de entrada, saída e o “caminho crítico” para o *CPPS* orientado à estratégia da velocidade.

Desta maneira, pode-se dizer que as funções de entrada do *CPPS* são descritas como “enviar mensagem” e “receber mensagem”, enquanto a função de saída é representada por “integrar a produção” e para que essa função aconteça é necessário justamente que “enviar mensagem” ocorra para que então às demais funções como: “compartilhar mensagem”, “comunicar interessado”, “apresentar interatividade”, “fornecer opções produtivas”, “padronizar comandos”, “apresentar comandos”, “correlacionar dados e comandos”, “visualizar configurações”, “processar comandos”, “comandar a distância”, “comunicar operador”, “converter linguagem”, “comunicar máquinas”, “transmitir dados”, “compartilhar dados”, “analisar dados” e “descentralizar decisões” manifestem-se e finalmente “integrar a produção” suceda-se. Assim, este conjunto de 21 funções pode ser descrito como integrante dos “caminhos críticos” das tecnologias de *hardwares* de máquinas colaborativas, *hardwares* de conexão à rede, *hardwares* de dispositivos móveis, *softwares* de interface de homem-máquina e *softwares* de comunicação e informação e também componentes do “caminho crítico” para o *CPPS* em foco.

Ademais, já é sabido o papel de cada tecnologia, que constitui esse sistema, possui na integração produtiva, podendo esta informação ser verificada mediante a análise das funções básicas de cada dispositivo tecnológico incorporado, enquanto as funções notórias para as empresas manufatureiras retratam as exigências dessas indústrias para a implantação de uma manufatura digitalizada orientada a velocidade de produção, vide Quadro 6.

Figura 43 - Diagrama FAST para Representação da Coletânea Tecnológica Base do CPPS Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 6 - Classificação e a Posição no Diagrama de *FAST* das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

| Ordem de Relevância das Funções | Função (Substantivo+Verbo) | Classificação da Função      |                       | Posição da Função no Diagrama de <i>FAST</i> do <i>CPPS</i>                |                                    |                                     |  |  |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
|                                 |                            | Básica (B) ou Secundária (S) | Uso (U) ou Estima (E) | Caminho Crítico das Tecnologias (CT), do <i>CPPS</i> (CC) ou de Suporte(S) | Exclusiva (E) ou Compartilhada (C) | Ordem de Relevância das Tecnologias | Tecnologia                                   | Tecnologias que Compartilham a Função      |
| 7°                              | Analisar dados             | S/B                          | U                     | CC   | C                                  | 1°                                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas   | <i>Softwares</i> de análise de dados       |
| 2°                              | Compartilhar dados         | S/B                          | U                     | CC   | C                                  |                                     |  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede         |
| 6°                              | Converter linguagem        | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 3°                              | Avaliar dados              | S                            | U                     | S  | C                                  | 2°                                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis      | <i>Softwares</i> de análise de dados       |
| 4°                              | Processar comandos         | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 14°                             | Visualizar configurações   | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 1°                              | Transmitir dados           | S                            | U                     | CC   | C                                  | 3°                                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede           | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas |
| 25°                             | Padronizar conexão         | S                            | E                     | CT   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 5°                              | Garantir estabilidade      | S                            | U                     | S  | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 13°                             | Apresentar dados           | S                            | E                     | S  | E                                  | 4°                                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina  | Não Possui                                 |
| 12°                             | Apresentar comandos        | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 11°                             | Fornecer opções produtivas | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 9°                              | Converter variáveis        | S                            | U                     | CT   | E                                  | 5°                                  | <i>Hardwares</i> de sensores                 | Não Possui                                 |
| 10°                             | Correlacionar variáveis    | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 18°                             | Selecionar dados           | S                            | U                     | CT   | E                                  | 6°                                  | <i>Softwares</i> de análise de dados         | Não Possui                                 |
| 15°                             | Minerar dados              | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |
| 8°                              | Compartilhar mensagem      | S                            | U                     | CC   | E                                  | 7°                                  | <i>Softwares</i> de comunicação e informação | Não Possui                                 |
| 17°                             | Alocar memória             | S                            | U                     | CT   | E                                  | 8°                                  | <i>Hardwares</i> de servidores               | Não Possui                                 |
| 19°                             | Avaliar espaço             | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |  | Não Possui                                 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Logo, com base nesse conjunto de funções notórias, é possível compreender que a adição da função “compartilhar mensagem” ao agrupamento de funções relevantes para as empresas de manufatura orientadas a estratégia da qualidade, traz consigo uma comunicação direta entre clientes e fornecedores com os diferentes níveis hierárquicos da manufatura, onde as próprias células de operação que as compõe pode agora ter acesso aos pedidos, informações e até mesmo requisitá-los a essas entidades externas de uma forma rápida e digitalizada.

Consequentemente entende-se que adição dos *softwares* de comunicação e informação ao conjunto tecnológico básico representante dos fundamentos da MA ajuda a desenvolver um *CPPS* mais dinâmico com o compartilhamento de dados entre manufatura, fornecedores e clientes, além de fortalecer os princípios de virtualização, descentralização, adaptação e orientação a serviços do sistema.

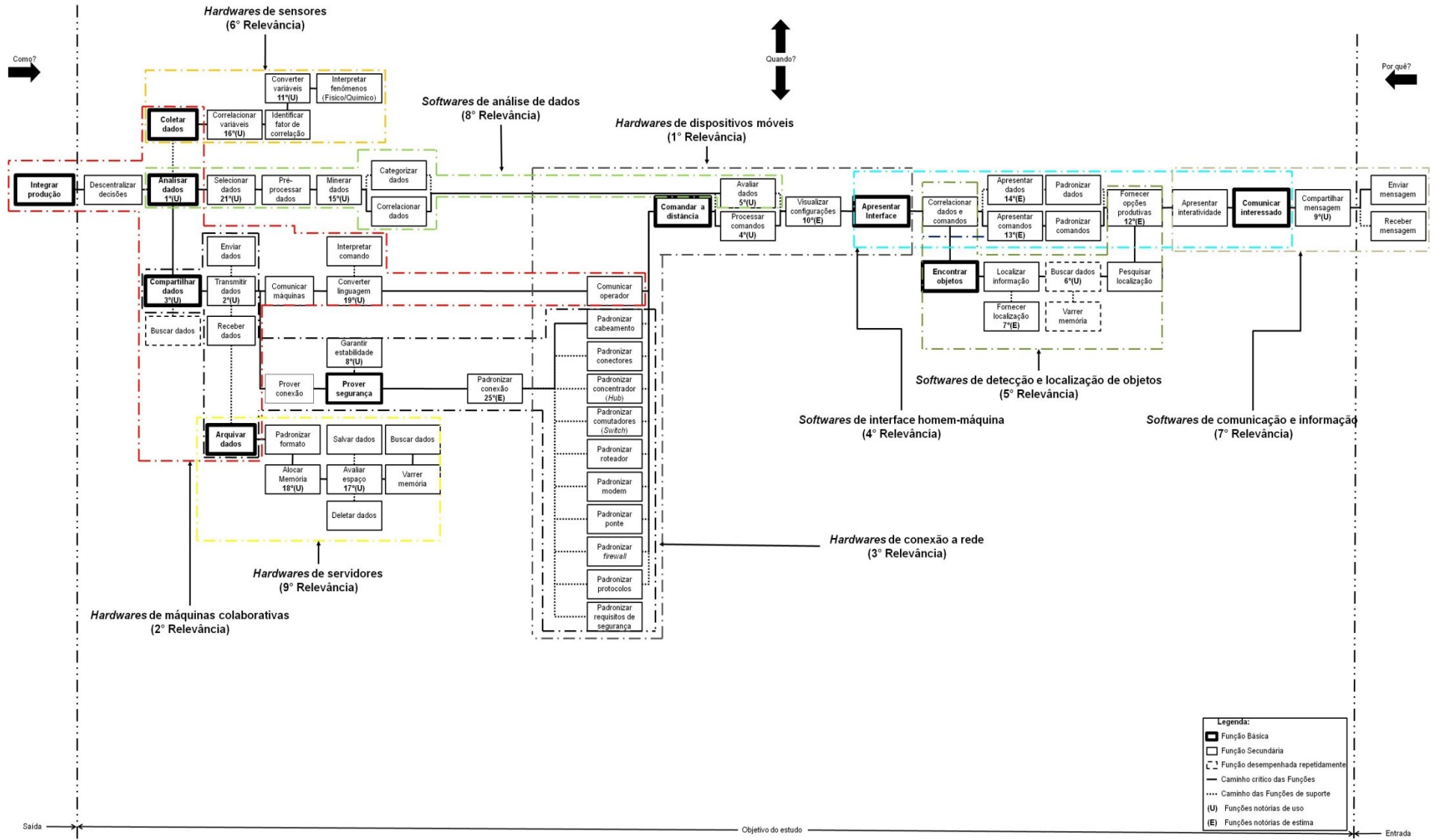
### **5.1.3. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade**

Igualitariamente aos diagramas das duas coletâneas anteriores, o presente diagrama seguirá a mesma lógica de união dos diagramas de *FAST* das tecnologias que o compõe, conforme a Figura 44 apresenta.

Além disso, as funções de entrada, saída e o “caminho crítico” do *CPPS* em questão, são os mesmos do sistema produtivo digitalizado orientado à estratégia competitiva da velocidade.

Já as funções notórias para as empresas de manufatura podem ser apreciadas no Quadro 7.

Figura 44 - Diagrama FAST para Representação da Coletânea Tecnológica Base do CPPS Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 7 - Classificação e a Posição no Diagrama de *FAST* das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade

| Ordem de Relevância das Funções | Função (Substantivo+Verbo) | Classificação da Função      |                       | Posição da Função no Diagrama de <i>FAST</i> do <i>CPPS</i>                |                                    |                                     |   |   |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
|                                 |                            | Básica (B) ou Secundária (S) | Uso (U) ou Estima (E) | Caminho Crítico das Tecnologias (CT), do <i>CPPS</i> (CC) ou de Suporte(S) | Exclusiva (E) ou Compartilhada (C) | Ordem de Relevância das Tecnologias | Tecnologia  | Tecnologias que Compartilham a Função                                       |
| 5°                              | Avaliar dados              | S                            | U                     | S  | C                                  | 1°                                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis               | <i>Softwares</i> de análise de dados  |
| 4°                              | Processar comandos         | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 10°                             | Visualizar configurações   | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 1°                              | Analisar dados             | S/B                          | U                     | CC   | C                                  | 2°                                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas            | <i>Softwares</i> de análise de dados  |
| 3°                              | Compartilhar dados         | S/B                          | U                     | CC   | C                                  |                                     |   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede  |
| 19°                             | Converter linguagem        | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 2°                              | Transmitir dados           | S                            | U                     | CC   | C                                  | 3°                                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                    | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                                  |
| 25°                             | Padronizar conexão         | S                            | E                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 8°                              | Garantir estabilidade      | S                            | U                     | S  | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 14°                             | Apresentar dados           | S                            | E                     | S  | E                                  | 4°                                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina           | Não Possui  |
| 13°                             | Apresentar comandos        | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 12°                             | Fornecer opções produtivas | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 7°                              | Fornecer localização       | S                            | E                     | S  | E                                  | 5°                                  | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos | Não Possui  |
| 6°                              | Buscar dados               | S/S/S                        | U                     | CT   | C                                  |                                     |   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas e <i>Hardwares</i> de servidores |
| 11°                             | Converter variáveis        | S                            | U                     | CT   | E                                  | 6°                                  | <i>Hardwares</i> de sensores                          | Não Possui  |
| 16°                             | Correlacionar variáveis    | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 9°                              | Compartilhar mensagem      | S                            | U                     | CC   | E                                  | 7°                                  | <i>Softwares</i> de comunicação e informação          | Não Possui  |
| 21°                             | Selecionar dados           | S                            | U                     | CT   | E                                  | 8°                                  | <i>Softwares</i> de análise de dados                  | Não Possui  |
| 15°                             | Minerar dados              | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 18°                             | Alocar memória             | S                            | U                     | CT   | E                                  | 9°                                  | <i>Hardwares</i> de servidores                        | Não Possui  |
| 17°                             | Avaliar espaço             | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir do conjunto de funções notórias, é possível compreender que a adição das funções “buscar dados” e “fornecer localização” ao agrupamento de funções relevantes para as empresas de manufatura orientadas a estratégia da velocidade, traz consigo a capacidade de rastrear e encontrar pacotes, insumos, produtos, ferramentas, equipamentos e qualquer outro objeto físico que seja de interesse, dentro ou fora do ambiente de manufatura.

Dessa maneira, entende-se que adição dos *softwares* de detecção e localização de objetos ao conjunto tecnológico base orientado à estratégia competitiva da velocidade ajuda a desenvolver um *CPPS* com entregas mais previsíveis e confiáveis, além de consolidar os princípios de virtualização, descentralização e adaptação para o sistema.

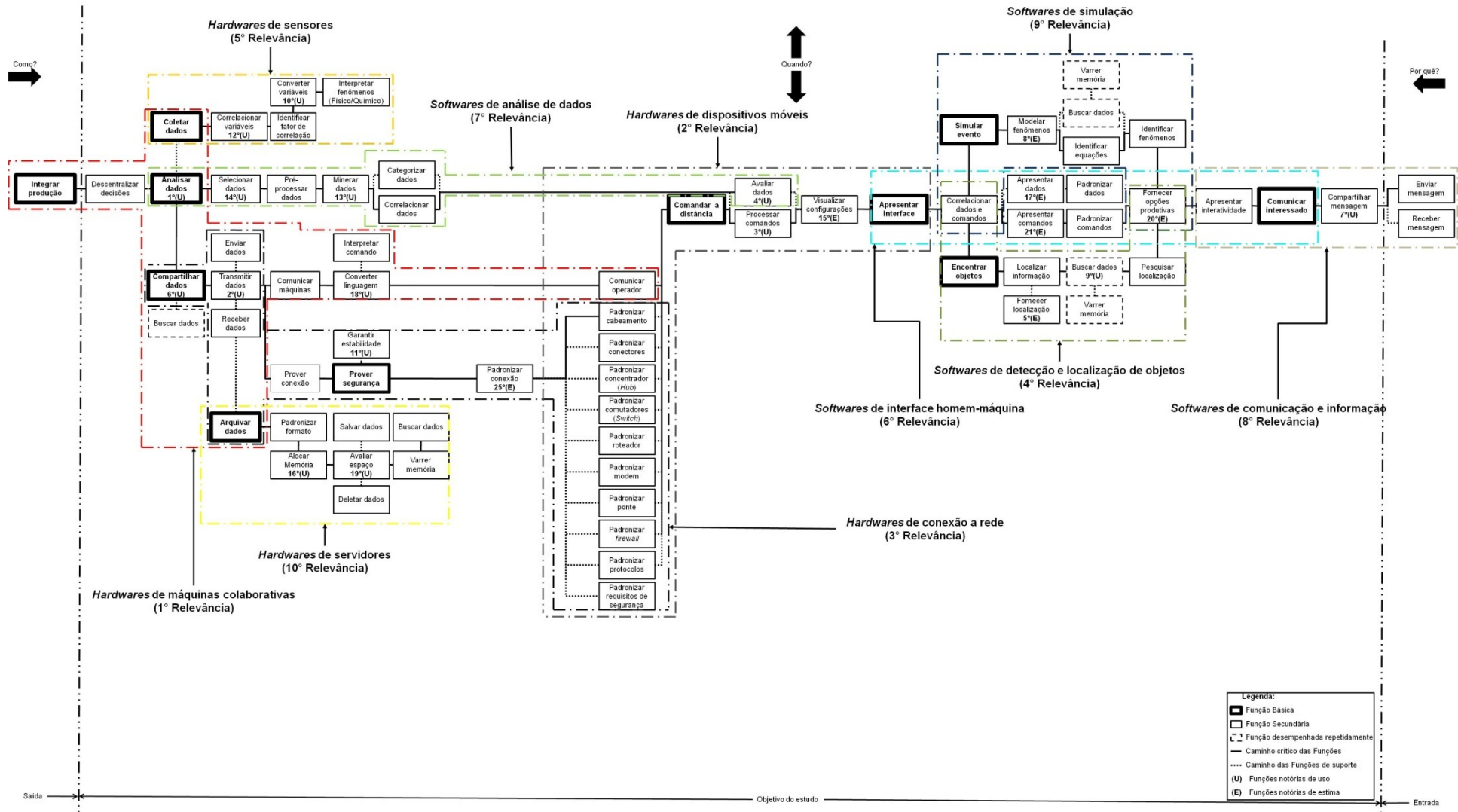
#### **5.1.4. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade**

Igualitariamente aos diagramas das três coletâneas anteriores, o presente diagrama seguirá a mesma lógica de união dos diagramas de *FAST* das tecnologias que o compõe, conforme a Figura 45 apresenta.

Além disso, as funções de entrada, saída e o “caminho crítico” do *CPPS* em questão, são os mesmos dos sistemas produtivos digitalizados orientados as estratégias competitivas da velocidade e pontualidade.

Já as funções notórias para as empresas de manufatura podem ser apreciadas no Quadro 8.

Figura 45 - Diagrama FAST para Representação da Coletânea Tecnológica Base do CPPS Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.



Quadro 8 - Classificação e a Posição no Diagrama de *FAST* das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

| Ordem de Relevância das Funções | Função (Substantivo+Verbo) | Classificação da Função      |                       | Posição da Função no Diagrama de <i>FAST</i> do <i>CPPS</i>                |                                    |                                     |   |   |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
|                                 |                            | Básica (B) ou Secundária (S) | Uso (U) ou Estima (E) | Caminho Crítico das Tecnologias (CT), do <i>CPPS</i> (CC) ou de Suporte(S) | Exclusiva (E) ou Compartilhada (C) | Ordem de Relevância das Tecnologias | Tecnologia  | Tecnologias que Compartilham a Função                                       |
| 1°                              | Analisar dados             | S/B                          | U                     | CC   | C                                  | 1°                                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas            | <i>Softwares</i> de análise de dados  |
| 6°                              | Compartilhar dados         | S/B                          | U                     | CC   | C                                  |                                     |   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede  |
| 18°                             | Converter linguagem        | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 4°                              | Avaliar dados              | S                            | U                     | S  | C                                  | 2°                                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis               | <i>Softwares</i> de análise de dados  |
| 3°                              | Processar comandos         | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 15°                             | Visualizar configurações   | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 2°                              | Transmitir dados           | S                            | U                     | C  | C                                  | 3°                                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                    | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                                  |
| 25°                             | Padronizar conexão         | S                            | E                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 11°                             | Garantir estabilidade      | S                            | U                     | S  | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 5°                              | Fornecer localização       | S                            | E                     | S  | E                                  | 4°                                  | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos | Não Possui  |
| 9°                              | Buscar dados               | S/S/S                        | U                     | CT   | C                                  |                                     |   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas e <i>Hardwares</i> de servidores |
| 10°                             | Converter variáveis        | S                            | U                     | CT   | E                                  | 5°                                  | <i>Hardwares</i> de sensores                          | Não Possui  |
| 12°                             | Correlacionar variáveis    | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 17°                             | Apresentar dados           | S                            | E                     | S  | E                                  | 6°                                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina           | Não Possui  |
| 21°                             | Apresentar comandos        | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 20°                             | Fornecer opções produtivas | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 14°                             | Selecionar dados           | S                            | U                     | CT   | E                                  | 7°                                  | <i>Softwares</i> de análise de dados                  | Não Possui  |
| 13°                             | Minerar dados              | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 7°                              | Compartilhar mensagem      | S                            | U                     | CC   | E                                  | 8°                                  | <i>Softwares</i> de comunicação e informação          | Não Possui  |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 7 - Classificação e a Posição no Diagrama de *FAST* das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade - Continuação

| Ordem de Relevância das Funções | Função (Substantivo+Verbo) | Classificação da Função      |                       | Posição da Função no Diagrama de <i>FAST</i> do <i>CPPS</i>                |                                    |                                     |                                |                                     |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
|                                 |                            | Básica (B) ou Secundária (S) | Uso (U) ou Estima (E) | Caminho Crítico das Tecnologias (CT), do <i>CPPS</i> (CC) ou de Suporte(S) | Exclusiva (E) ou Compartilhada (C) | Ordem de Relevância das Tecnologias | Tecnologia                     | Tecnologia que Compartilha a Função |
| 8°                              | Modelar fenômenos          | S                            | E                     | CT   | E                                  | 9°                                  | <i>Softwares</i> de simulação  | Não Possui                          |
| 16°                             | Alocar memória             | S                            | U                     | CT   | E                                  | 10°                                 | <i>Hardwares</i> de servidores | Não Possui                          |
| 19°                             | Avaliar espaço             | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |                                | Não Possui                          |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir do conjunto de funções notórias, é possível compreender que a adição da função “modelar fenômenos” ao agrupamento de funções relevantes para as empresas de manufatura orientadas à estratégia da pontualidade, traz consigo a capacidade de modelar os mais diversos fenômenos produtivos a fim de encontrar alternativas e novos caminhos que a produção possa seguir para otimizar seus recursos disponíveis.

Dessa maneira, entende-se que adição dos *softwares* de simulação ao conjunto tecnológico base orientado à estratégia competitiva da pontualidade ajuda a desenvolver um *CPPS* mais flexível, além de consolidar os princípios de virtualização, descentralização, adaptação, modularização e orientação a serviços para o sistema.

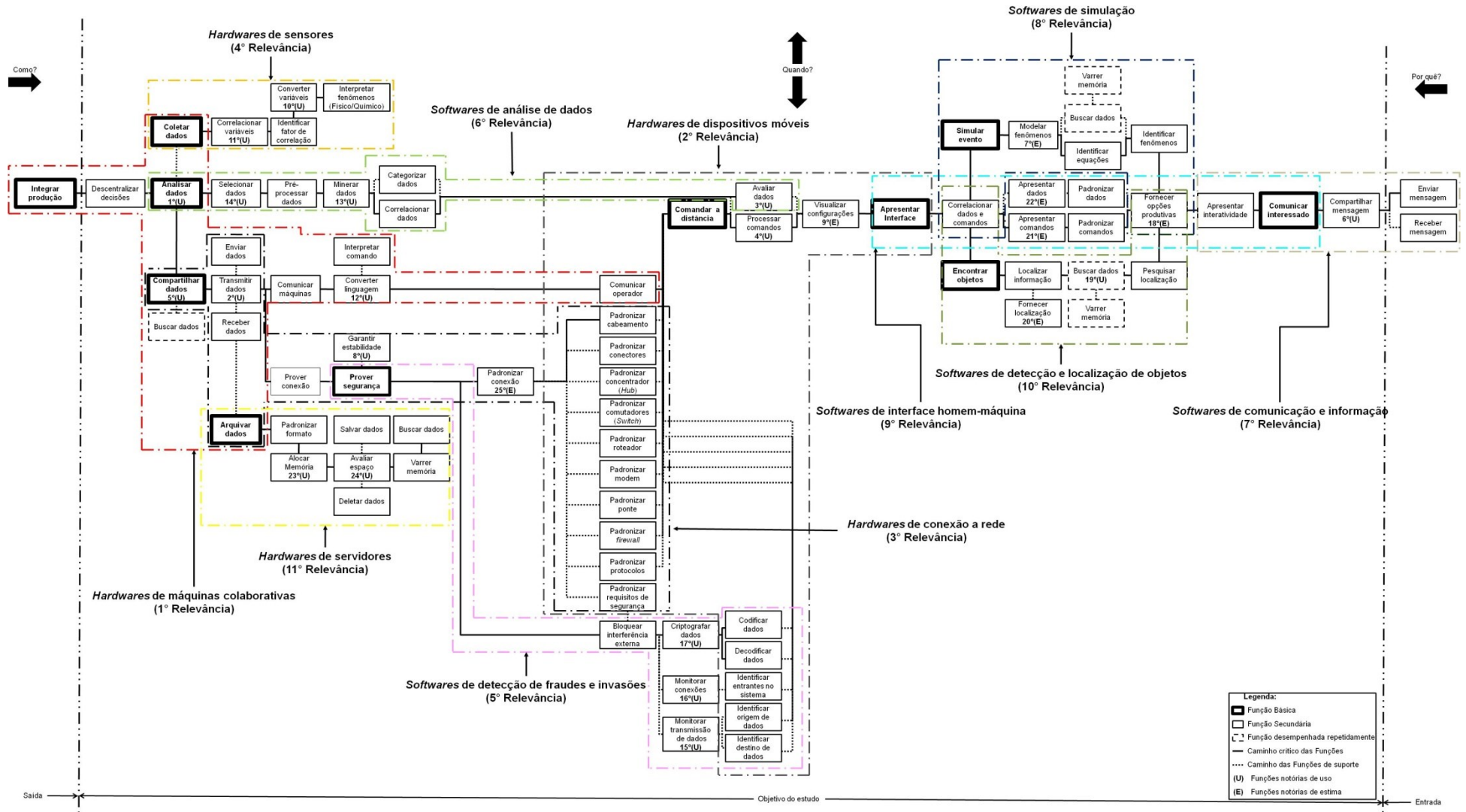
#### **5.1.5. Análise Funcional da Coletânea Tecnológica Base para Estruturação do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo**

Igualitariamente aos diagramas das quatro coletâneas anteriores, o presente diagrama seguirá a mesma lógica de união dos diagramas de *FAST* das tecnologias que o compõe, conforme a Figura 46 apresenta.

Além disso, as funções de entrada, saída e o “caminho crítico” do *CPPS* em questão, são os mesmos dos sistemas produtivos digitalizados orientados as estratégias competitivas da velocidade, pontualidade e flexibilidade.

Já as funções notórias para as empresas de manufatura podem ser apreciadas no Quadro 9.

Figura 46 - Diagrama FAST para Representação da Coletânea Tecnológica Base do CPPS Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 9 - Classificação e a Posição no Diagrama de *FAST* das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo

| Ordem de Relevância das Funções | Função (Substantivo+Verbo)      | Classificação da Função      |                       | Posição da Função no Diagrama de <i>FAST</i> do <i>CPPS</i>                |                                    |                                     |   |  |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
|                                 |                                 | Básica (B) ou Secundária (S) | Uso (U) ou Estima (E) | Caminho Crítico das Tecnologias (CT), do <i>CPPS</i> (CC) ou de Suporte(S) | Exclusiva (E) ou Compartilhada (C) | Ordem de Relevância das Tecnologias | Tecnologia  | Tecnologia que Compartilha a Função        |
| 1°                              | Analisar dados                  | S/B                          | U                     | CC   | C                                  | 1°                                  | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas                | <i>Softwares</i> de análise de dados       |
| 5°                              | Compartilhar dados              | S/B                          | U                     | CC   | C                                  |                                     |   | <i>Hardwares</i> de conexão à rede         |
| 12°                             | Converter linguagem             | S/S                          | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 3°                              | Avaliar dados                   | S/S                          | U                     | S  | C                                  | 2°                                  | <i>Hardwares</i> de dispositivos móveis                   | <i>Softwares</i> de análise de dados       |
| 4°                              | Processar comandos              | S                            | U                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 9°                              | Visualizar configurações        | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 2°                              | Transmitir dados                | S                            | U                     | CC   | C                                  | 3°                                  | <i>Hardwares</i> de conexão à rede                        | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas |
| 25°                             | Padronizar conexão              | S/S                          | E                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 8°                              | Garantir estabilidade           | S                            | U                     | S  | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 10°                             | Converter variáveis             | S                            | U                     | CT   | E                                  | 4°                                  | <i>Hardwares</i> de sensores                              | Não Possui                                 |
| 11°                             | Correlacionar variáveis         | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 17°                             | Criptografar dados              | S                            | U                     | CT   | E                                  | 5°                                  | <i>Softwares</i> de detecção de dados, fraudes e invasões | Não Possui                                 |
| 16°                             | Monitorar conexões              | S                            | U                     | S  | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 15°                             | Monitorar transmissões de dados | S                            | U                     | S  | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 14°                             | Selecionar dados                | S                            | U                     | CT   | E                                  | 6°                                  | <i>Softwares</i> de análise de dados                      | Não Possui                                 |
| 13°                             | Minerar dados                   | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui                                 |
| 6°                              | Compartilhar mensagem           | S                            | U                     | CC   | E                                  | 7°                                  | <i>Softwares</i> de comunicação e informação              | Não Possui                                 |
| 7°                              | Modelar fenômenos               | S                            | E                     | CT   | E                                  | 8°                                  | <i>Softwares</i> de simulação                             | Não Possui                                 |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 9 - Classificação e a Posição no Diagrama de *FAST* das Funções Notórias para as Empresas de Manufatura Presentes na Coletânea Tecnológica Base do *CPPS* Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo - Continuação

| Ordem de Relevância das Funções | Função (Substantivo+Verbo) | Classificação da Função      |                       | Posição da Função no Diagrama de <i>FAST</i> do <i>CPPS</i>                |                                    |                                     |   |   |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
|                                 |                            | Básica (B) ou Secundária (S) | Uso (U) ou Estima (E) | Caminho Crítico das Tecnologias (CT), do <i>CPPS</i> (CC) ou de Suporte(S) | Exclusiva (E) ou Compartilhada (C) | Ordem de Relevância das Tecnologias | Tecnologia  | Tecnologia que Compartilha a Função   |
| 22°                             | Apresentar dados           | S                            | E                     | S  | E                                  | 9°                                  | <i>Softwares</i> de interface homem-máquina           | Não Possui  |
| 21°                             | Apresentar comandos        | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 18°                             | Fornecer opções produtivas | S                            | E                     | CC   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |
| 20°                             | Fornecer localização       | S                            | E                     | A  | E                                  | 10°                                 | <i>Softwares</i> de detecção e localização de objetos | Não Possui  |
| 19°                             | Buscar dados               | S/S/S                        | U                     | CT   | C                                  |                                     |   | <i>Hardwares</i> de máquinas colaborativas e <i>Hardwares</i> de servidores |
| 23°                             | Alocar memória             | S                            | U                     | CT   | E                                  | 11°                                 | <i>Hardwares</i> de servidores                        | Não Possui  |
| 24°                             | Avaliar espaço             | S                            | U                     | CT   | E                                  |                                     |   | Não Possui  |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir do conjunto de funções notórias, é possível compreender que a adição das funções “criptografar dados”, “monitorar conexões” e “monitorar transmissão de dados” ao agrupamento de funções relevantes para as empresas de manufatura orientadas a estratégia da flexibilidade, traz consigo a capacidade de codificar, rastrear e acompanhar os dados, sejam eles de origem externa ou interna.

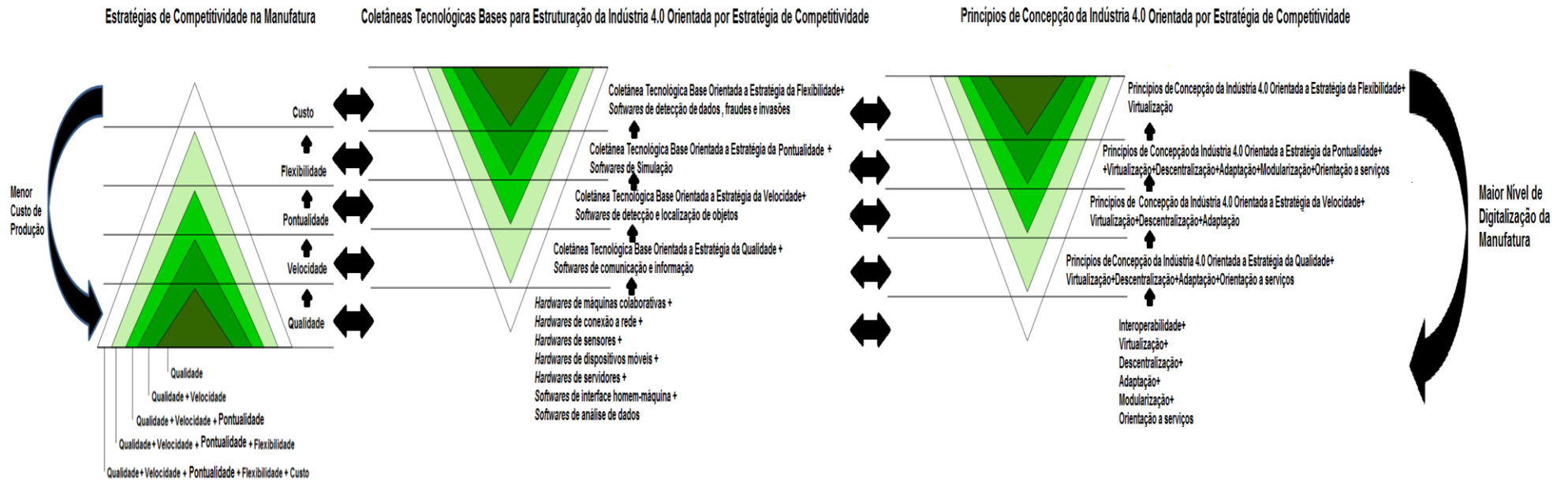
Dessa maneira, entende-se que adição dos *Softwares* de detecção de dados, fraudes e invasões ao conjunto tecnológico base orientado à estratégia competitiva da flexibilidade ajuda a desenvolver um *CPPS* com maior segurança e controle sobre o fluxo de dados, conseqüentemente, diminuindo os custos de produção, com base na redução de possíveis falhas do sistema ou ataques que possam ser feitos por indivíduos mal-intencionados, além de fortalecer o princípio da virtualização para o sistema.

## 5.2. 2ª FASE - ANÁLISE DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS DO MODELO

Com a análise funcional das coletâneas tecnológicas realizada, a discussão dos aspectos estruturais do modelo proposto acontece na intenção de se evidenciar mais detalhadamente a relação entre a fundamentação do modelo com a teoria das estratégias de competitividade na manufatura.

Inicialmente, pode-se dizer que o modelo proposto de apoio à decisão da composição tecnológica segue a estrutura de estratégia de competitividade proposta por Ferdows e De Meyer (1990) e adaptada por Slack (1991), conhecida como “Cone de Areia”, porém ao tratar as coletâneas tecnológicas e os princípios de concepção da MA, há uma relação de proporcionalidade inversa com essas estratégias, onde se exige uma expansão das estruturas, através da adição de mais tecnologias as coletâneas e desenvolvimento de princípios mais sólidos, para atingir as estratégias competitivas de mais alto nível, conforme Figura 47.

Figura 47 – “Modelo do Cone de Areia Invertido”



Fonte: Elaborado pelo Autor.



Desta forma, como já se sabe o alicerce da estratégia da qualidade na produção é retratado pelo conjunto tecnológico básico representante dos princípios da MA e adição ordenada das tecnologias de *softwares* de comunicação e informação, *softwares* de detecção e localização de objetos, *softwares* de simulação e *Softwares de detecção de dados, fraudes e invasões*, trazem consigo respectivamente as camadas estratégicas de pontualidade, velocidade, flexibilidade e custo, além de fortalecer os princípios de virtualização, descentralização, adaptação, modularização e orientação a serviços, entretanto observa-se que para o desenvolvimento das camadas estratégicas de níveis superiores, as tecnologias bases dos níveis mais baixos devem ser aperfeiçoadas. Assim, para se avaliar e planejar os níveis de desempenho da MA desejados é possível a utilização de outras ferramentas, como a *Toolbox Industrie 4.0* de Anderl (2016).

Por esta relação inversa entre as estratégias competitivas, as coletâneas tecnológicas e os princípios de concepção da MA, além de uma homenagem ao trabalho de Ferdows e De Meyer (1990), o presente modelo é intitulado como “*Inverted Sand Cone Model*” ou “Modelo do Cone de Areia Invertido”.

### 5.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Com o término do capítulo, compreende-se que adição das tecnologias de *hardwares* e *softwares* de análise de dados e interface homem-máquina ao *CPPS* não refletirão na mudança da estratégia competitiva de uma empresa, devido ao fato de suas funções notórias serem representantes dos princípios básicos de concepção da I4.0 e, conseqüentemente, estão ligados a estratégia base da qualidade. Logo, entende-se que essas tecnologias serão consideradas como indispensáveis para a composição de um *CPPS* e a ausência de uma ou mais delas, caracteriza em uma desobediência aos princípios básicos para sua composição.

Já a adição ordenada das demais tecnologias de *softwares* ao *CPPS* seguindo o “Modelo do Cone de Areia Invertido”, retratará a mudança estratégica de uma empresa, devido suas funções notórias trazerem sob sua incumbência a percepção das demais estratégias competitivas aliadas ao fortalecimento de determinados princípios específicos, conforme a Figura 47 ilustra.

Por fim, observou-se que as funções notórias integrantes das tecnologias inseridas nas coletâneas tecnológicas que representam esses diferentes *CPPS*, em sua maioria são classificadas como funções de uso, em quanto algumas funções de estima possuem muitas vezes posições de destaque em relação às demais em números absoluto, na soma de seus GI's,

elas representam a minoria das funções. Portanto, assimila-se que o Valor de uso engloba a maior parte do VE agregado neste tipo de aquisição de equipamentos e programas computacionais para a manufatura.

## CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO DO MODELO

Este capítulo descreve a aplicação do modelo desenvolvido, seguindo as três fases estabelecidas no capítulo três, no sentido de permitir a melhor compreensão de suas etapas e a comprovação de seus resultados práticos no contexto da digitalização da manufatura de produtos.

### 6.1. APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA DE ESCOLHA DA EMPRESA, SETOR E DO PROCESSO

Para fins de desenvolvimento deste estudo foi necessário a substituição da razão social e nome fantasia da empresa, bem como a supressão de informações que pudessem, de alguma forma, permitir a identificação da empresa, doravante denominada XYZ. Tais circunstâncias não comprometeram os resultados originalmente pretendidos.

Ademais, para a efetiva aplicação do modelo, buscou-se ainda explicar pontualmente a cada funcionário envolvido com os objetivos do estudo, suas bases metodológicas e os resultados esperados, no sentido de promover uma reflexão sobre o tipo de contribuição que este possa trazer ao desenvolvimento de sua atividade e à empresa como um todo.

A empresa XYZ está atuando a 93 anos no ramo têxtil, mais precisamente na fabricação de etiquetas, estampas, cadarço, identificações e fitas. Atualmente, ela conta com cinco unidades fabris, as quais possuem uma capacidade de produção de 6 bilhões de etiquetas por ano, além de empregar mais de 1300 funcionários e possuir um faturamento anual de 165 milhões de reais.

As razões para escolha da empresa XYZ, mais precisamente a unidade fabril de Blumenau-SC, para participar da aplicação do modelo foram às seguintes:

- É uma empresa que possui manufatura de produtos;
- Está inserida em um ambiente de mercado de livre concorrência;
- Adota uma estratégia competitiva de mercado de distinção por custo de seus concorrentes; e
- Está passando por um processo de digitalização de seus setores internos, a fim de implantar um sistema produtivo de CM.

O setor escolhido nesta unidade fabril para aplicação do modelo foi o de estoque de matéria-prima (MP), por ser este o setor com maior fluxo de materiais e pouco controle das informações, segundo a gerência. Há também o fato, da empresa ter lançado recentemente uma linha de etiquetas e *tags* de identificação por radiofrequência, as quais, o presidente da

empresa pretende utilizar neste setor como vitrine dos produtos. Desta maneira, ele almeja provar para seus clientes que o uso desses produtos, junto a outras tecnologias complementares, tem a capacidade de tornar o processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP mais preciso, enxuto e rentável. Assim, esse setor foi o foco do estudo de caso realizado.

Por último, salienta-se que para análise do valor deste processo, os custos analisados foram relacionados, principalmente, com a mão-de-obra e o tempo de execução das atividades/funções, por serem os objetivos de redução esperados pela empresa. Outro aspecto a destacar é que a escala utilizada para avaliação do VE das funções, segue a proposta de Pereira Filho (1994), conforme pode ser visto no Quadro 2 deste trabalho.

## 6.2. 1ª FASE – AVALIAÇÃO DO VALOR ECONÔMICO AGREGADO POR FUNÇÃO DO PROCESSO NAS ETAPAS DE PRÉ-DIGITALIZAÇÃO E PÓS-DIGITALIZAÇÃO ORIENTADA A CADA ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE

Para a realização da primeira fase da aplicação do modelo procedeu-se com o mapeamento do processo a fim de identificar a função principal de cada atividade, visando conhecê-las e avaliá-las quanto ao VE agregado, antes e após a cada incorporação tecnológica semanal.

O passo seguinte foi aplicar o Digrama de Mudge com a finalidade de ordenar estas funções por sua relevância (i.e. GI), segundo a percepção daqueles que as executam.

Em seguida, efetuou-se o levantamento dos custos por atividade, tomando por base o percentual de tempo médio gasto para a execução de cada função. O cálculo de uma média do tempo gasto para execução de cada função fez-se aqui necessária, devido à inviabilidade de se mensurar todas as atividades realizadas no intervalo de imersão no estudo de caso, além da empresa não possuir este tipo de controle sobre as tarefas de seus funcionários. Logo, o tempo médio foi obtido a partir de uma amostra diária de vinte mensurações de cada atividade, sendo esta realizada “*in loco*” durante as vistas semanais a empresa. Para cálculo dessa amostra foi considerado o total de atividades diárias de vinte e duas execuções e um erro amostral de cinco por cento.

Já os custos foram divididos em dois grupos, mão-de-obra e insumos, ambos fornecido pela gerência da empresa. Os demais custos como depreciações, manutenção de instalação e equipamentos, *etc.* não são alocados ao processo de manufatura por serem pouco representativos neste setor em estudo.

Para os custos de mão de obra, a gerência informou que os oito funcionários do setor possuíam igualdade salarial, por ocuparem o mesmo cargo de trabalho dentro da empresa. A tabela 18 apresenta o detalhamento desse custo com o cálculo das frações de tempo de trabalho que um funcionário pode exercer.

Tabela 18 – Detalhamento dos Custos de Mão de Obra por Funcionário na empresa XYZ

| Salário e Provisões   | Custos              | Alíquotas e Bases de Cálculo   |
|---|---------------------|--|
| Salário Bruto   | R\$ 4.500,00        | Remuneração Mensal sem os descontos de Imposto de Renda e Previdência Social   |
| Provisão de 13° Salário   | R\$ 375,00          | 1/12 do Salário Bruto  |
| Provisão de Férias  | R\$ 375,00          | 1/12 do Salário Bruto  |
| Provisão de 1/3 de Férias   | R\$ 124,65          | 1/36 do Salário Bruto  |
| Provisão de Fundo de Garantia por Tempo de Serviço                              | R\$ 360,00          | 8% do Salário Bruto  |
| Provisão de Fundo de Garantia por Tempo de Serviço sobre o 13° Salário e Férias | R\$ 39,97           | 8% do 13° Salário + 8% do 1/3 Férias   |
| Provisão de Previdência Social  | R\$ 481,29          | 7,5%x(R\$1.100,0) + 9% (R\$2.203,48-R\$1.100,01) + 12% (R\$3.305,22-R\$2.203,49) + 14% (Salário Bruto-R\$3.305,23)   |
| Provisão de Previdência Social sobre o 13° Salário e Férias                     | R\$ 334,83          | [7,5%(R\$1.100,0) + 9% (R\$2.203,48-R\$1.100,01) + 12% (R\$3.305,22-R\$2.203,49) + 14% (Salário Bruto-R\$3.305,23)]/12 meses trabalhados + [ 7,5% (do valor de 1/3 de férias)] /12 meses trabalhados |
| <b>Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Mensal</b>                      | <b>R\$ 6.590,74</b> | <b>Salário Bruto + Todas as Provisões</b>  |
| Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Semanal                            | R\$ 1.647,69        | Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Mensal/ 4 semanas de um mês   |
| Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Anual                              | R\$ 79.088,89       | Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Mensal x12 meses trabalhados  |
| Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Diário                             | R\$ 311,37          | Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Anual/ 254 dias úteis de um ano trabalhado  |
| Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário por Hora                           | R\$ 41,85           | Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário Diário/(8 horas de um turno de trabalho- 7% para paradas pessoais)  |
| <b>Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário por Minuto</b>                  | <b>R\$ 0,70</b>     | Custo Total de Mão de Obra de um Funcionário por Hora/ 60 minutos trabalhados  |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base INSS (2021).

Enquanto, para o custo dos insumos foi priorizado os gastos com consumo de energia elétrica, como iluminação, refrigeração, climatização e alimentação dos equipamentos já existentes e implementados durante a pesquisa (e.g. servidores, sensores, equipamentos de conexão à rede...). Para isso, o gasto com energia foi obtido pela tarifa mensal de consumo energia elétrica do setor, conforme a tabela 19 apresenta o detalhamento desse custo e suas respectivas frações de tempo de uso.

Tabela 19 – Detalhamento dos Custos de Energia Elétrica na empresa XYZ

| Consumo, Contribuições                                     | Bandeira e Tarifa 06/2021 (1º e 2º Semana)                                  | Consumo 07/2021(3º, 4º, 5º e 6º Semana)  | Alíquotas e Bases de Cálculo   |
|--|---|--|--|
| Consumo de Energia Elétrica                                | R\$ 0,73 por kWh<br>5934 kWh<br><b>R\$ 4.334,05</b>                         | R\$ 0,71 por kWh<br>14218 kWh<br><b>R\$ 10.062,74</b>                          | Consumo (kWh)* {[Tarifa homologada / ( 1 – Contribuição para o Programa de Integração Social – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social )]/(1 – Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços)}<br><b>Dados:</b><br>Tarifa Homologada = R\$0,53 por kWh consumido; Contribuição para o Programa de Integração Social = 0,58% em junho e 0,03% em julho; Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social = 2,67% em junho e 0,15% em julho; Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços = 25%.  |
| Adicional Bandeira Tarifária                               | R\$ 5,47 a cada 100 kWh<br>Bandeira vermelha patamar 1<br><b>R\$ 324,65</b> | R\$ 12,67 a cada 100 kWh<br>Bandeira vermelha patamar 2<br><b>R\$ 1.801,80</b> | (Consumo (kWh)/100)* {[Adicional de Bandeira Tarifaria / ( 1 – Contribuição para o Programa de Integração Social – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social )]/(1 – Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços)}<br><b>Dados:</b><br>Adicional de Bandeira Tarifaria = R\$0,00 para cada 100 kWh consumido na bandeira verde, R\$ 1,87 para cada 100 kWh consumido na bandeira amarela, R\$3,97 para cada 100 kWh consumidos na bandeira vermelha patamar 1 e R\$9,49 para cada 100 kWh consumidos na bandeira vermelha patamar 2; Contribuição para o Programa de Integração Social = 0,58% em junho e 0,03% em julho; Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social = 2,67% em junho e 0,15% em julho; Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços = 25%. |
| Contribuição Sobre Iluminação Pública                      | <b>R\$ 168,00</b>   | <b>R\$ 318,56</b>  | Contribuição Sobre Iluminação Pública = R\$ 53,47 para consumo até 2000 kWh mês, R\$ 65,68 para consumo entre 2001 a 5000 kWh mês, R\$ 168,00 para consumo entre 5001 a 10000 kWh mês, R\$ 318,56 para consumo entre 10001 a 50000 kWh mês e R\$ 528,56 para consumo acima de 50001 kWh mês.   |
| <b>Custo Total de Energia Elétrica do Setor Mensal</b>     | <b>R\$ 4.826,70</b>   | <b>R\$ 12.183,10</b>   | Consumo de Energia Elétrica + Adicional de Bandeira Tarifária + Contribuição sobre Iluminação Pública  |
| Custo Total de Energia Elétrica do Setor Semanal           | R\$ 1.206,67  | R\$ 3.045,78   | Custo Total de Energia Elétrica do Setor Mensal/ 4 semanas de um mês trabalhado  |
| Custo Total de Energia Elétrica do Setor Diário            | R\$ 241,33  | R\$ 609,16   | Custo Total de Energia Elétrica do Setor Semanal/ 5 dias úteis de uma semana   |
| Custo Total de Energia Elétrica do Setor por Hora          | R\$ 30,17   | R\$ 76,14  | Custo Total de Energia Elétrica do Setor Diário/ 8 horas de um turno de trabalho   |
| <b>Custo Total de Energia Elétrica do Setor por Minuto</b> | <b>R\$ 0,50</b>   | <b>R\$ 1,27</b>  | Custo Total de Energia Elétrica do Setor por Hora/ 60 minutos trabalhados  |

Fonte: Elaborado pelo Autor com base Blumenau (2015) e CELESC (2021).

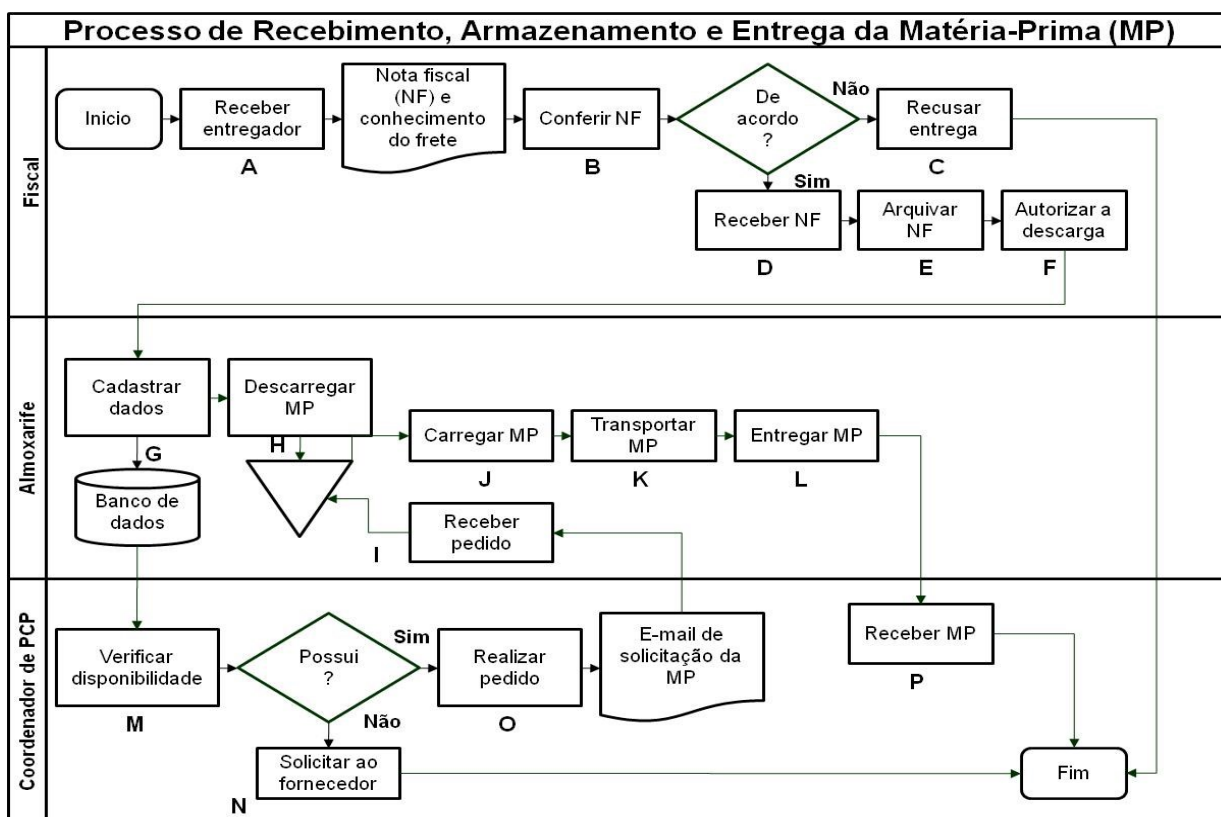
Uma vez obtido o GI de cada função e o seu respectivo custo, foi possível calcular o VE agregado de cada função realizada no processo.

Posto isto, as subseções a seguir, tratarão de representar estes procedimentos para cada incorporação tecnológica orientada a uma estratégia específica.

### 6.2.1. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pré-Digitalização

Para o cálculo do VE agregado por função do processo durante a primeira semana, na etapa de pré-digitalização, iniciou-se com o mapeamento do processo. A Figura 48 apresenta as atividades e respectivas funções do processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP antes da digitalização.

Figura 48 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na sequência procedeu-se ao levantamento do GI de cada função, por meio da aplicação do diagrama de Mudge, junto aos funcionários atuantes no processo, conforme Figura 49.

Figura 49 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização

| A            |   | B |   | C |   | D |   | E |   | F |   | G |   | H |   | I |   | J |   | K |   | L |   | M |   | N |   | O |   | P   |         | Peso  | GI |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---------|-------|----|
| A            | A | 1 | A | 3 | A | 1 | A | 1 | F | 1 | G | 1 | H | 1 | I | 2 | J | 2 | K | 1 | L | 3 | A | 1 | A | 1 | O | 1 | P | 3   | 8       | 3,23% |    |
| B            |   | B | 1 | D | 1 | B | 3 | F | 1 | G | 1 | H | 3 | I | 2 | J | 1 | K | 1 | L | 3 | B | 1 | B | 1 | O | 3 | P | 3 | 6   | 2,42%   |       |    |
| C            |   |   |   | D | 1 | E | 3 | F | 3 | G | 3 | H | 3 | I | 2 | J | 3 | K | 3 | L | 5 | M | 1 | N | 1 | O | 3 | P | 5 | 0   | 0,00%   |       |    |
| D            |   |   |   |   |   | D | 3 | F | 3 | G | 3 | H | 3 | I | 2 | J | 3 | K | 3 | L | 3 | D | 1 | D | 1 | O | 3 | P | 5 | 7   | 2,82%   |       |    |
| E            |   |   |   |   |   |   |   | F | 1 | G | 3 | H | 3 | I | 2 | J | 3 | K | 3 | L | 3 | E | 1 | E | 1 | O | 3 | P | 5 | 5   | 2,02%   |       |    |
| F            |   |   |   |   |   |   |   |   |   | F | 2 | H | 1 | I | 3 | J | 1 | K | 1 | L | 1 | F | 1 | F | 2 | O | 2 | P | 3 | 14  | 5,65%   |       |    |
| G            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | H | 1 | I | 2 | J | 3 | K | 3 | L | 2 | G | 1 | G | 1 | O | 3 | P | 3 | 13  | 5,24%   |       |    |
| H            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | H | 1 | J | 2 | K | 1 | L | 1 | H | 1 | H | 1 | O | 3 | P | 3 | 18  | 7,26%   |       |    |
| I            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | J | 2 | K | 1 | L | 1 | I | 1 | I | 1 | O | 3 | P | 5 | 17  | 6,85%   |       |    |
| J            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | J | 1 | L | 1 | J | 1 | J | 1 | O | 1 | P | 3 | 23  | 9,27%   |       |    |
| K            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | L | 1 | K | 1 | K | 2 | O | 1 | P | 3 | 20  | 8,06%   |       |    |
| L            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | L | 3 | L | 3 | L | 3 | P | 1 | 33  | 13,31%  |       |    |
| M            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | M | 1 | O | 3 | P | 3 | 2   | 0,81%   |       |    |
| N            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | O | 3 | P | 3 | 1   | 0,40%   |       |    |
| O            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | P | 1 | 32  | 12,90%  |       |    |
| P            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 49  | 19,76%  |       |    |
| <b>Total</b> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 248 | 100,00% |       |    |

Fonte: Elaborado pelo Autor.



Posteriormente, realizou-se o cálculo dos custos por função executada no processo, conforme mostra a Tabela 20. Os custos de mão-de-obra e o insumo de energia elétrica foram rateados percentualmente, conforme o tempo médio gasto em cada função, pois se observou no decorrer do processo que a cada atividade executada, havia a intervenção apenas de um funcionário e não ocorria em paralelo com outras atividades.

Tabela 20 – Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo) | Tempo médio<br>de execução da<br>função<br>(Segundos) | Custo de<br>mão-de-obra<br>por função<br>executada | Custo de<br>energia<br>elétrica por<br>função<br>executada | Somatório<br>dos custos<br>por<br>função<br>executada | Custo (%)      |
|--------------|----------------------------------|---|--|--|---|----------------|
| A            | Receber entregador               | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20  | 3,39%          |
| B            | Conferir NF                      | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40  | 6,78%          |
| C            | Recusar entrega                  | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20  | 3,39%          |
| D            | Receber NF                       | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20  | 3,39%          |
| E            | Arquivar NF                      | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20  | 3,39%          |
| F            | Autorizar descarga               | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20  | 3,39%          |
| G            | Cadastrar dados                  | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40  | 6,78%          |
| H            | Descarregar MP                   | 300   | R\$ 3,49   | R\$ 2,51   | R\$ 6,00  | 16,95%         |
| I            | Receber pedido                   | 30  | R\$ 0,35   | R\$ 0,25   | R\$ 0,60  | 1,69%          |
| J            | Carregar MP                      | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40  | 6,78%          |
| K            | Transportar MP                   | 300   | R\$ 3,49   | R\$ 2,51   | R\$ 6,00  | 16,95%         |
| L            | Entregar MP                      | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20  | 3,39%          |
| M            | Verificar disponibilidade        | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40  | 6,78%          |
| N            | Solicitar ao fornecedor          | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40  | 6,78%          |
| O            | Realizar pedido                  | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40  | 6,78%          |
| P            | Receber MP                       | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20  | 3,39%          |
| <b>Total</b> |                                  | <b>1770</b>   | <b>R\$ 20,58</b>                                   | <b>R\$ 14,83</b>   | <b>R\$35,41</b>                                       | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em seguida, o cálculo do VE agregado de cada função do processo foi obtido através da divisão entre os percentuais do GI e os custos por função, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 21 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pré-digitalização

| <b>Código</b> | <b>Funções<br/>(Verbo + Substantivo)</b> | <b>Função - GI (%)</b> | <b>Custo (%)</b> | <b>VE</b>   | <b>Classificação do VE</b> |
|---------------|--|------------------------|------------------|-------------|----------------------------|
| A             | Receber entregador                       | 3,23%                  | 3,39%            | 0,95        | Adequado                   |
| <b>B</b>      | <b>Conferir NF</b>                       | <b>2,42%</b>           | <b>6,78%</b>     | <b>0,35</b> | <b>Crítico</b>             |
| <b>C</b>      | <b>Recusar entrega</b>                   | <b>0,00%</b>           | <b>3,39%</b>     | <b>0,01</b> | <b>Crítico</b>             |
| <b>D</b>      | <b>Receber NF</b>                        | <b>2,82%</b>           | <b>3,39%</b>     | <b>0,83</b> | <b>Crítico</b>             |
| <b>E</b>      | <b>Arquivar NF</b>                       | <b>2,02%</b>           | <b>3,39%</b>     | <b>0,59</b> | <b>Crítico</b>             |
| F             | Autorizar descarga                       | 5,65%                  | 3,39%            | 1,66        | Ótimo                      |
| <b>G</b>      | <b>Cadastrar dados</b>                   | <b>5,24%</b>           | <b>6,78%</b>     | <b>0,77</b> | <b>Crítico</b>             |
| <b>H</b>      | <b>Descarregar MP</b>                    | <b>7,26%</b>           | <b>16,95%</b>    | <b>0,42</b> | <b>Crítico</b>             |
| I             | Receber pedido                           | 6,85%                  | 1,69%            | 4,04        | Ótimo                      |
| J             | Carregar MP                              | 9,27%                  | 6,78%            | 1,36        | Ótimo                      |
| <b>K</b>      | <b>Transportar MP</b>                    | <b>8,06%</b>           | <b>16,95%</b>    | <b>0,47</b> | <b>Crítico</b>             |
| L             | Entregar MP                              | 13,31%                 | 3,39%            | 3,92        | Ótimo                      |
| <b>M</b>      | <b>Verificar disponibilidade</b>         | <b>0,81%</b>           | <b>6,78%</b>     | <b>0,11</b> | <b>Crítico</b>             |
| <b>N</b>      | <b>Solicitar ao fornecedor</b>           | <b>0,40%</b>           | <b>6,78%</b>     | <b>0,05</b> | <b>Crítico</b>             |
| O             | Realizar pedido                          | 12,90%                 | 6,78%            | 1,90        | Ótimo                      |
| P             | Receber MP                               | 19,76%                 | 3,39%            | 5,82        | Ótimo                      |
| <b>Total</b>  |  | <b>100,00%</b>         | <b>100,00%</b>   |             |                            |

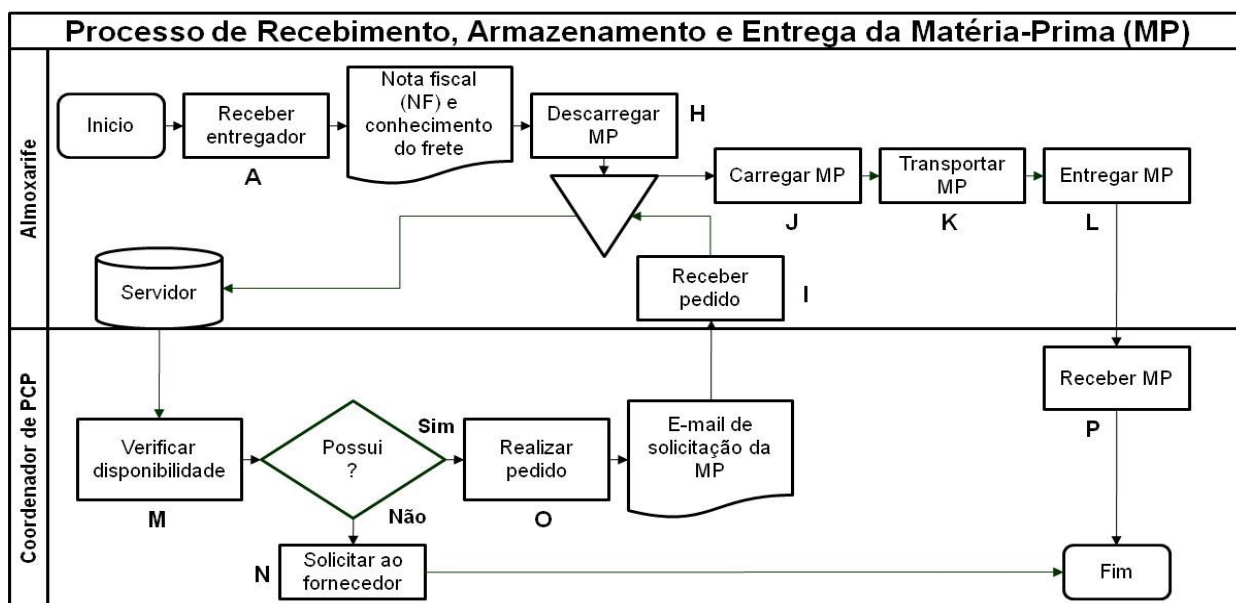
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com o VE agregado por função do processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP na etapa de Pré-digitalização obtido, observou-se que as funções (B) “conferir NF”, (C) “recusar entrega”, (D) “receber NF”, (E) “Arquivar NF”, (G) “cadastrar dados”, (H) “descarregar MP”, (K) “transportar MP”, (M) “verificar disponibilidade” e (N) “solicitar ao fornecedor” são críticos em VE, ou seja, possuem baixo grau de agregação de VE ao processo analisado. Neste caso, considera-se que estas funções não agregam Valor. Desta maneira, a gerência entendeu que estas funções são em sua maioria, relacionadas com a conferência e documentação de algumas atividades do processo e seriam o foco da melhoria, por meio de sua digitalização, que ocorreria na próxima semana.

#### 6.2.2. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade

Para o cálculo do VE do processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP após a digitalização ocorrida na segunda semana, procedeu-se com o seu novo mapeamento. A Figura 50 apresenta as suas novas atividades e respectivas funções.

Figura 50 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade



Ressalta-se que as funções de VE críticas da semana anterior (B) “conferir NF”, (C) “recusar entrega”, (D) “receber NF”, (E) “arquivar NF”, (F) “autorizar descarga” e (G) “cadastrar dados” deixaram de ser realizadas pelo fiscal e o almoxarife, pois o sistema integrado de gestão empresarial implementado em conjunto com os *hardwares* para operação das etiquetas de radiofrequência passaram a realizá-las de forma autônoma.

Na sequência, efetuou-se o levantamento do grau de importância de cada função, por meio da aplicação do diagrama de Mudge, junto aos funcionários atuantes no processo. O resultado é apresentado na Figura 51.

Figura 51 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade

| A | H   | J   | K   | L   | I   | M   | N   | O   | P            | Peso      | GI             |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----------|----------------|
| A | A 3 | J 2 | K 2 | L 3 | I 3 | A 2 | A 1 | O 1 | P 3          | 6         | 6,38%          |
|   | H   | J 2 | K 2 | L 1 | I 1 | H 2 | H 1 | O 3 | P 3          | 3         | 3,19%          |
|   |     | J   | J 2 | L 1 | J 2 | J 1 | J 1 | O 1 | P 3          | 10        | 10,64%         |
|   |     |     | K   | L 1 | I 1 | K 1 | K 2 | O 1 | P 3          | 7         | 7,45%          |
|   |     |     |     | L   | L 1 | L 3 | L 3 | L 3 | P 1          | 16        | 17,02%         |
|   |     |     |     |     | I   | I 2 | I 2 | O 3 | P 5          | 9         | 9,57%          |
|   |     |     |     |     |     | M   | M 1 | O 3 | P 5          | 1         | 1,06%          |
|   |     |     |     |     |     |     | N   | O 3 | P 3          | 0         | 0,00%          |
|   |     |     |     |     |     |     |     | O   | P 1          | 15        | 15,96%         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     | P            | 27        | 28,72%         |
|   |     |     |     |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | <b>94</b> | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Posteriormente, realizou-se o cálculo dos custos por função executada no processo, conforme mostra a Tabela 22. Os custos de mão de obra e o insumo energia elétrica foram distribuídos percentualmente, conforme o tempo gasto em cada função, pois no decorrer do processo foi constatado que a cada atividade executada, havia a intervenção apenas de um funcionário e não existiam outras atividades em paralelo transcorrendo.

Tabela 22 - Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo) | Tempo médio<br>de execução da<br>função<br>(Segundos) | Custo de<br>mão-de-obra<br>por função<br>executada | Custo de<br>energia<br>elétrica<br>por função<br>executada | Somatório<br>dos custos<br>por função<br>executada | Custo (%)      |
|--------------|----------------------------------|---|--|--|--|----------------|
| A            | Receber entregador               | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20   | 4,55%          |
| H            | Descarregar MP                   | 300   | R\$ 3,49   | R\$ 2,51   | R\$ 6,00   | 22,73%         |
| J            | Carregar MP                      | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40   | 9,09%          |
| K            | Transportar MP                   | 300   | R\$ 3,49   | R\$ 2,51   | R\$ 6,00   | 22,73%         |
| L            | Entregar MP                      | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20   | 4,55%          |
| I            | Receber pedido                   | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20   | 4,55%          |
| M            | Verificar disponibilidade        | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40   | 9,09%          |
| N            | Solicitar ao fornecedor          | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40   | 9,09%          |
| O            | Realizar pedido                  | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 1,01   | R\$ 2,40   | 9,09%          |
| P            | Receber MP                       | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 0,50   | R\$ 1,20   | 4,55%          |
| <b>Total</b> |                                  | <b>1320</b>   | <b>R\$ 15,35</b>                                   | <b>R\$ 11,06</b>   | <b>R\$ 26,41</b>                                   | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em seguida, o cálculo do VE agregado de cada função foi obtido através da divisão entre os percentuais do GI e os custos por função, conforme mostra a Tabela 23.

Tabela 23 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Qualidade

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo) | Função - GI (%) | Custo (%)      | VE          | Classificação do VE |
|--------------|----------------------------------|-----------------|----------------|-------------|---------------------|
| A            | Receber entregador               | 6,38%           | 4,55%          | 1,40        | Ótimo               |
| <b>H</b>     | <b>Descarregar MP</b>            | <b>3,19%</b>    | <b>22,73%</b>  | <b>0,14</b> | <b>Crítico</b>      |
| J            | Carregar MP                      | 10,64%          | 9,09%          | 1,17        | Ótimo               |
| <b>K</b>     | <b>Transportar MP</b>            | <b>7,45%</b>    | <b>22,73%</b>  | <b>0,32</b> | <b>Crítico</b>      |
| L            | Entregar MP                      | 17,02%          | 4,55%          | 3,74        | Ótimo               |
| I            | Receber pedido                   | 9,57%           | 4,55%          | 2,10        | Ótimo               |
| <b>M</b>     | <b>Verificar disponibilidade</b> | <b>1,06%</b>    | <b>9,09%</b>   | <b>1,17</b> | <b>Crítico</b>      |
| <b>N</b>     | <b>Solicitar ao fornecedor</b>   | <b>0,00%</b>    | <b>9,09%</b>   | <b>0,01</b> | <b>Crítico</b>      |
| O            | Realizar pedido                  | 15,96%          | 9,09%          | 1,75        | Ótimo               |
| P            | Receber MP                       | 28,72%          | 4,55%          | 6,31        | Ótimo               |
| <b>Total</b> |                                  | <b>100,00%</b>  | <b>100,00%</b> |             |                     |

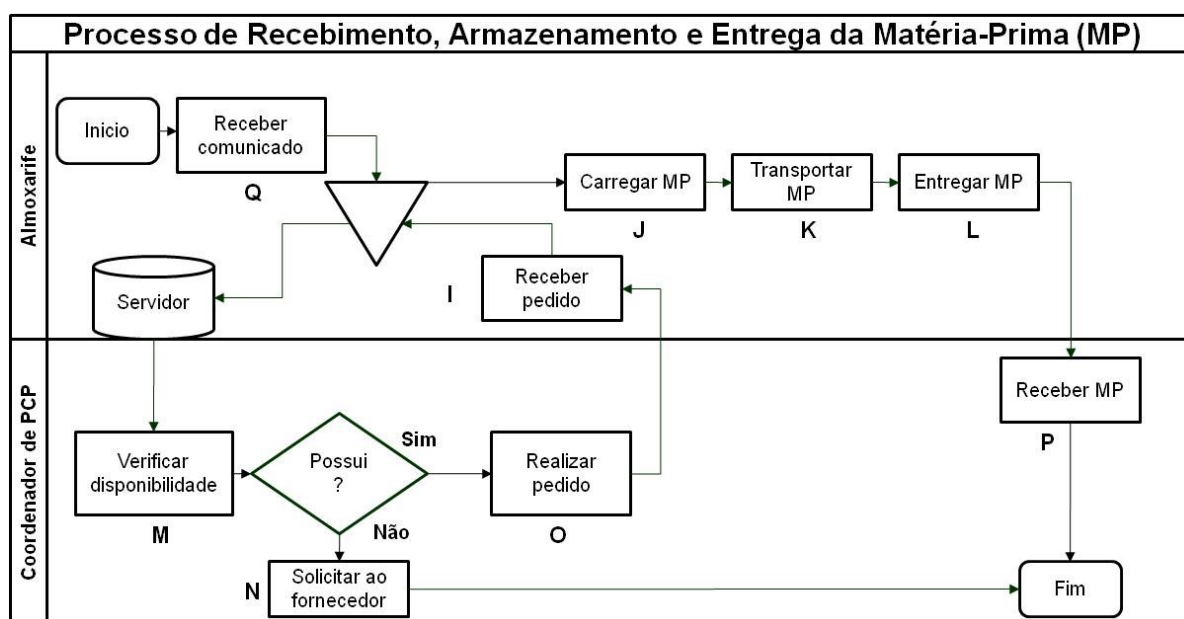
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com o VE agregado por função do processo obtido, as funções (H) “descarregar MP”, (K) “transportar MP”, (M) “verificar disponibilidade” e (N) “solicitar ao fornecedor” continuaram com baixo grau de agregação de VE ao processo, pois ainda eram realizadas pelo almoxarife e coordenador de PCP a um custo elevado em relação ao benefício apresentado. Sendo estas funções o foco da gerência na melhoria do processo para a semana posterior.

### 6.2.3 Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

Para o cálculo do VE do processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP após a digitalização ocorrida na terceira semana, procedeu-se com o seu novo mapeamento. A Figura 52 apresenta as suas novas atividades e respectivas funções.

Figura 52 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Destaca-se que a função crítica da semana anterior (H) “descarregar MP” deixou de ser realizada pelo almoxarife, devido a implementação de uma política para a descarga no estoque ser realizada pelo fornecedor, juntamente com a habilitação das mensagens instantâneas, no sistema de gestão empresarial e no aplicativo de controle da cancela. Essa implementação tecnológica, também alterou a função (A) “receber entregador”, a qual era executada na semana anterior, por (Q) “receber comunicado”. Dessa maneira, os funcionários passaram apenas a serem notificados sobre essa atividade.

Com o novo mapeamento do processo realizado, procedeu-se ao levantamento do GI de cada função, por meio da aplicação do diagrama de Mudge, junto aos funcionários atuantes no processo, conforme é apresentado na Figura 53.

Figura 53 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

| Q | J   | K   | L   | I   | M   | N   | O   | P     | Peso | GI      |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|---------|
| Q | J 3 | K 3 | L 3 | I 3 | Q 3 | Q 1 | O 1 | P 5   | 4    | 4,76%   |
|   | J   | J 3 | L 1 | J 2 | J 1 | J 1 | O 1 | P 3   | 10   | 11,90%  |
|   |     | K   | L 1 | I 1 | K 1 | K 2 | O 1 | P 3   | 6    | 7,14%   |
|   |     |     | L   | L 1 | L 3 | L 3 | L 3 | P 1   | 15   | 17,86%  |
|   |     |     |     | I   | I 2 | I 2 | O 3 | P 5   | 8    | 9,52%   |
|   |     |     |     |     | M   | M 3 | O 3 | P 5   | 3    | 3,57%   |
|   |     |     |     |     |     | N   | O 3 | P 3   | 0    | 0,00%   |
|   |     |     |     |     |     |     | O   | P 1   | 12   | 14,29%  |
|   |     |     |     |     |     |     |     | P     | 26   | 30,95%  |
|   |     |     |     |     |     |     |     | Total | 84   | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em seguida, realizou-se o cálculo dos custos por função executada no processo, conforme mostra a Tabela 24. Os custos de mão de obra e o insumo de energia elétrica foram distribuídos percentualmente, conforme o tempo médio gasto em cada função, pois no decorrer do processo observou-se que a cada atividade executada, havia a intervenção apenas de um funcionário e não existiam outras atividades em paralelo acontecendo.

Tabela 24 – Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

| Código | Funções<br>(Verbo + Substantivo) | Tempo médio de<br>execução da<br>função<br>(Segundos) | Custo de<br>mão-de-<br>obra por<br>função<br>executada | Custo de<br>energia<br>elétrica por<br>função<br>executada | Somatório<br>dos custos<br>por função<br>executada | Custo (%)      |
|--------|----------------------------------|---|--|--|--|----------------|
| Q      | Receber comunicado               | 10  | R\$ 0,12   | R\$ 0,21   | R\$ 0,33   | 1,03%          |
| J      | Carregar MP                      | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 2,54   | R\$ 3,93   | 12,37%         |
| K      | Transportar MP                   | 300   | R\$ 3,49   | R\$ 6,35   | R\$ 9,83   | 30,93%         |
| L      | Entregar MP                      | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 1,27   | R\$ 1,97   | 6,19%          |
| I      | Receber pedido                   | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 1,27   | R\$ 1,97   | 6,19%          |
| M      | Verificar<br>disponibilidade     | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 2,54   | R\$ 3,93   | 12,37%         |
| N      | Solicitar ao fornecedor          | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 2,54   | R\$ 3,93   | 12,37%         |
| O      | Realizar pedido                  | 120   | R\$ 1,40   | R\$ 2,54   | R\$ 3,93   | 12,37%         |
| P      | Receber MP                       | 60  | R\$ 0,70   | R\$ 1,27   | R\$ 1,97   | 6,19%          |
|        | <b>Total</b>                     | <b>970</b>  | <b>R\$ 11,28</b>                                       | <b>R\$ 20,52</b>   | <b>R\$ 31,79</b>                                   | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na sequência, o cálculo do VE agregado de cada função foi obtido através da divisão entre os percentuais do GI e os custos por função, conforme mostra a Tabela 25.

Tabela 25 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Velocidade

| <b>Código</b> | <b>Funções<br/>(Verbo + Substantivo)</b> | <b>Função - GI (%)</b> | <b>Custo (%)</b> | <b>VE</b>   | <b>Classificação do VE</b> |
|---------------|--|------------------------|------------------|-------------|----------------------------|
| Q             | Receber entregador                       | 4,76%                  | 1,03%            | 4,61        | Ótimo                      |
| J             | Carregar MP                              | 11,90%                 | 12,37%           | 0,96        | Adequado                   |
| <b>K</b>      | <b>Transportar MP</b>                    | <b>7,14%</b>           | <b>30,93%</b>    | <b>0,23</b> | <b>Crítico</b>             |
| L             | Entregar MP                              | 17,86%                 | 6,19%            | 2,88        | Ótimo                      |
| I             | Receber pedido                           | 9,52%                  | 6,19%            | 1,53        | Ótimo                      |
| <b>M</b>      | <b>Verificar disponibilidade</b>         | <b>3,57%</b>           | <b>12,37%</b>    | <b>0,28</b> | <b>Crítico</b>             |
| <b>N</b>      | <b>Solicitar ao fornecedor</b>           | <b>0,00%</b>           | <b>12,37%</b>    | <b>0,01</b> | <b>Crítico</b>             |
| O             | Realizar pedido                          | 14,29%                 | 12,37%           | 1,15        | Ótimo                      |
| P             | Receber MP                               | 30,95%                 | 6,19%            | 5,00        | Ótimo                      |
| <b>Total</b>  |  | <b>100,00%</b>         | <b>100,00%</b>   |             |                            |

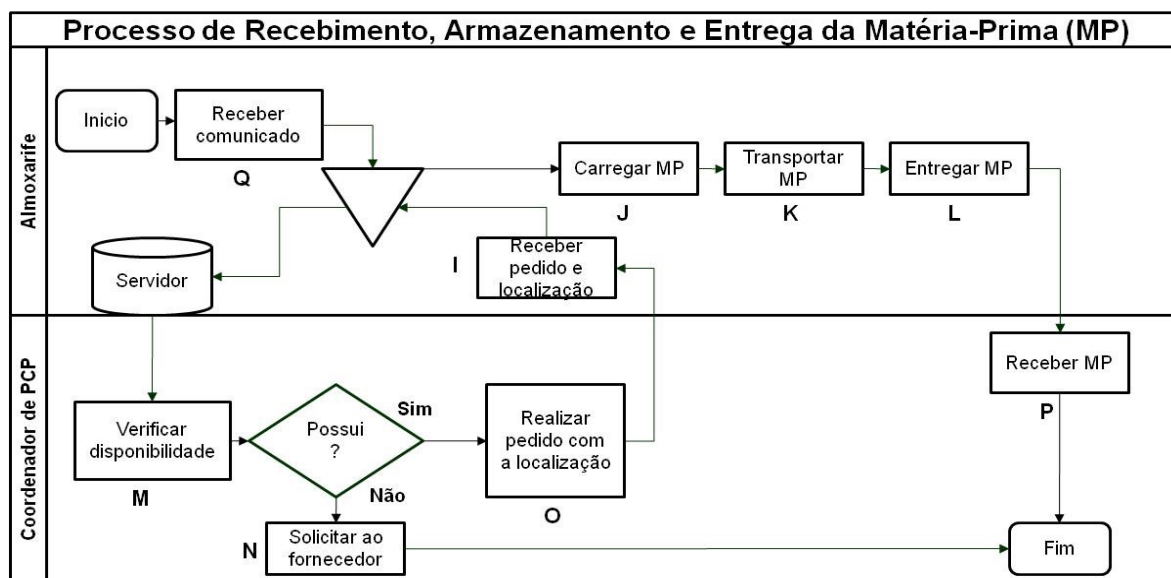
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com o VE agregado por função do processo obtido as funções (K) “transportar MP”, (M) “verificar disponibilidade” e (N) “solicitar ao fornecedor” continuaram com baixo grau de agregação de VE ao processo analisado em relação à semana anterior a digitalização, sendo estas funções, o foco da gerência na melhoria do processo para a próxima semana.

#### 6.2.4. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade

Para o cálculo do VE do processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP após a digitalização ocorrida na quarta semana, procedeu-se com o seu novo mapeamento. A Figura 54 apresenta as suas novas atividades e respectivas funções.

Figura 54 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ressalta-se que as funções críticas da semana anterior (I) “receber pedido” e (O) “realizar pedido ” passara a vir com a informação da localização dos pedidos, graças à habilitação do aplicativo de localização via rádio frequência das etiquetas e *tags* nos *tablets* e *smartphones*. Dessa maneira, os funcionários passaram apenas a serem notificados sobre essas atividades.

Na sequência, efetuou-se o levantamento do GI de cada função por meio da aplicação do diagrama de Mudge, junto aos funcionários atuantes no processo. O resultado é apresentado na Figura 55.

Figura 55 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade

| Q | J   | K   | L   | I   | M   | N   | O   | P     | Peso | GI      |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|---------|
| Q | J 3 | K 3 | L 3 | I 3 | Q 3 | Q 1 | O 2 | P 5   | 4    | 4,60%   |
|   | J   | J 2 | L 1 | J 2 | J 1 | J 1 | O 2 | P 3   | 9    | 10,34%  |
|   |     | K   | L 1 | I 1 | K 1 | K 2 | O 2 | P 3   | 6    | 6,90%   |
|   |     |     | L   | L 1 | L 3 | L 3 | L 4 | P 1   | 16   | 18,39%  |
|   |     |     |     | I   | I 2 | I 2 | O 3 | P 5   | 8    | 9,20%   |
|   |     |     |     |     | M   | M 3 | O 3 | P 5   | 3    | 3,45%   |
|   |     |     |     |     |     | N   | O 3 | P 3   | 0    | 0,00%   |
|   |     |     |     |     |     |     | O   | P 1   | 15   | 17,24%  |
|   |     |     |     |     |     |     |     | P     | 26   | 29,89%  |
|   |     |     |     |     |     |     |     | Total | 87   | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.



Posteriormente, realizou-se o cálculo dos custos por função executada no processo, conforme mostra a Tabela 26. Os custos de mão de obra e o insumo de energia elétrica foram distribuídos percentualmente, conforme o tempo médio gasto em cada função, pois no decorrer do processo averiguou-se que a cada atividade executada, havia a intervenção apenas de um funcionário e não existiam outras atividades em paralelo acontecendo.

Tabela 26 - Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo)   | Tempo médio de<br>execução da função<br>(Segundos) | Custo de<br>mão-de-<br>obra por<br>função<br>executada | Custo de<br>energia<br>elétrica<br>por<br>função<br>executada | Somatório<br>dos custos<br>por<br>função<br>executada | Custo (%)      |
|--------------|------------------------------------|--|--|---|---|----------------|
| Q            | Receber comunicado                 | 10   | R\$ 0,12   | R\$ 0,21  | R\$ 0,33  | 1,22%          |
| J            | Carregar MP                        | 90   | R\$ 1,05   | R\$ 1,90  | R\$ 2,95  | 10,98%         |
| K            | Transportar MP                     | 180  | R\$ 2,09   | R\$ 3,81  | R\$ 5,90  | 21,95%         |
| L            | Entregar MP                        | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 7,32%          |
| I            | Receber pedido com<br>localização  | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 7,32%          |
| M            | Verificar disponibilidade          | 120  | R\$ 1,40   | R\$ 2,54  | R\$ 3,93  | 14,63%         |
| N            | Solicitar ao fornecedor            | 120  | R\$ 1,40   | R\$ 2,54  | R\$ 3,93  | 14,63%         |
| O            | Realizar pedido com<br>localização | 120  | R\$ 1,40   | R\$ 2,54  | R\$ 3,93  | 14,63%         |
| P            | Receber MP                         | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 7,32%          |
| <b>Total</b> |                                    | <b>820</b>   | <b>R\$ 9,53</b>  | <b>R\$ 17,34</b>  | <b>R\$ 26,88</b>                                      | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em seguida, o cálculo do VE agregado de cada função do processo foi obtido através da divisão entre os percentuais de GI e os custos por função, conforme mostra a Tabela 27.

Tabela 27 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Pontualidade

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo)   | Função - GI(%) | Custo (%)      | VE          | Classificação do VE |
|--------------|------------------------------------|----------------|----------------|-------------|---------------------|
| Q            | Receber comunicado                 | 4,60%          | 1,22%          | 3,77        | Ótimo               |
| J            | Carregar MP                        | 10,34%         | 10,98%         | 0,94        | Adequado            |
| <b>K</b>     | <b>Transportar MP</b>              | <b>6,90%</b>   | <b>21,95%</b>  | <b>0,31</b> | <b>Crítico</b>      |
| L            | Entregar MP                        | 18,39%         | 7,32%          | 2,51        | Ótimo               |
| I            | Receber pedido com<br>localização  | 9,20%          | 7,32%          | 1,25        | Ótimo               |
| <b>M</b>     | <b>Verificar disponibilidade</b>   | <b>3,45%</b>   | <b>14,63%</b>  | <b>0,23</b> | <b>Crítico</b>      |
| <b>N</b>     | <b>Solicitar ao fornecedor</b>     | <b>0,00%</b>   | <b>14,63%</b>  | <b>0,01</b> | <b>Crítico</b>      |
| O            | Realizar pedido com<br>localização | 17,24%         | 14,63%         | 1,17        | Ótimo               |
| P            | Receber MP                         | 29,89%         | 7,32%          | 4,08        | Ótimo               |
| <b>Total</b> |                                    | <b>100,00%</b> | <b>100,00%</b> |             |                     |

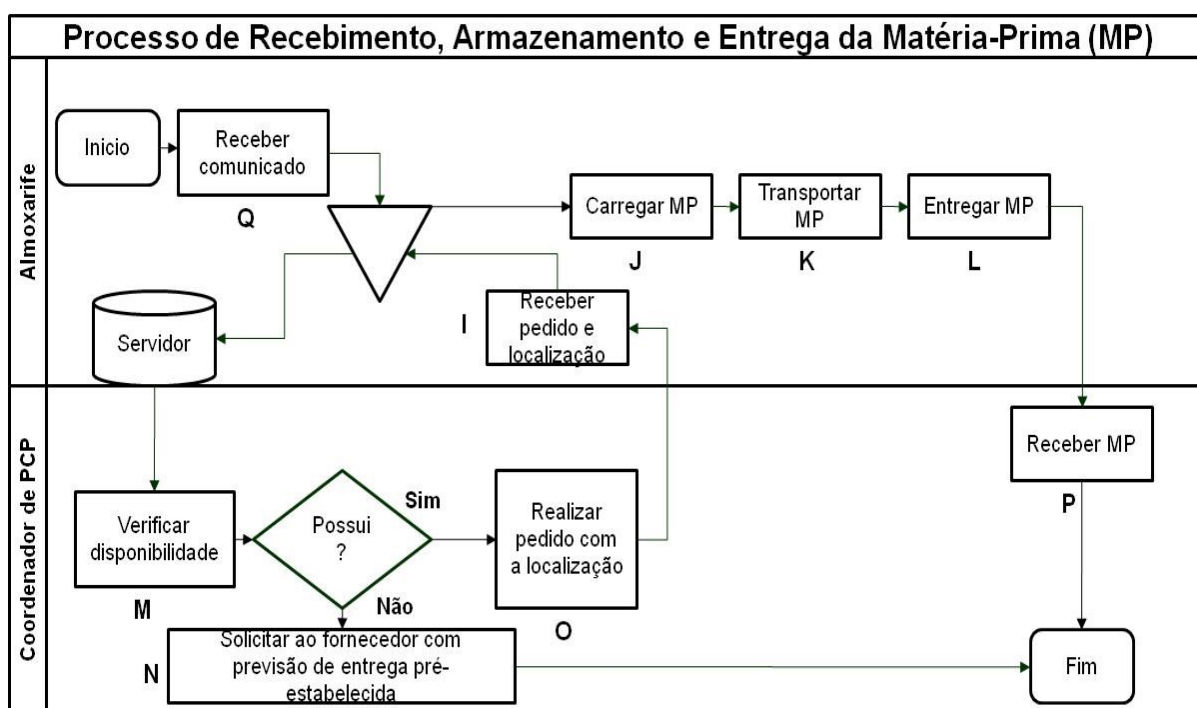
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com o VE agregado por função do processo obtido, constatou-se que as funções (K) “transportar MP”, (M) “verificar disponibilidade” e (N) “solicitar ao fornecedor” continuaram críticas em VE, pois a utilização do aplicativo de localização via rádio frequência das etiquetas e *tags* não as afetou em seus desempenhos e nem em seus custos.

#### 6.2.5. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

Para o cálculo do VE do processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP após a digitalização ocorrida na quinta semana, procedeu-se com o seu novo mapeamento. A Figura 56 apresenta as suas novas atividades e respectivas funções.

Figura 56 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Destaca-se que a função (N) “solicitar ao fornecedor” passou a ser acompanhada de uma previsão de entrega, graças a instalação de um sistema de simulação discreta nos computadores do setor. Desta maneira, a previsão de entrega é baseada nos dados históricos de fornecimento de MP.

Na sequência, procedeu-se ao levantamento do GI de cada função, por meio da aplicação do diagrama de Mudge, junto aos funcionários atuantes no processo. O resultado é apresentado na Figura 57.

Figura 57 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

| Q | J   | K   | L   | I   | M   | N   | O   | P     | Peso | GI      |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|---------|
| Q | J 3 | K 3 | L 3 | I 3 | Q 2 | N 2 | O 2 | P 5   | 2    | 2,22%   |
|   | J   | J 3 | L 1 | J 2 | J 1 | J 1 | O 2 | P 3   | 10   | 11,11%  |
|   |     | K   | L 1 | I 1 | K 2 | K 2 | O 2 | P 3   | 7    | 7,78%   |
|   |     |     | L   | L 1 | L 3 | L 3 | L 4 | P 1   | 16   | 17,78%  |
|   |     |     |     | I   | I 2 | I 2 | O 3 | P 5   | 8    | 8,89%   |
|   |     |     |     |     | M   | N 4 | O 3 | P 5   | 0    | 0,00%   |
|   |     |     |     |     |     | N   | O 3 | P 3   | 6    | 6,67%   |
|   |     |     |     |     |     |     | O   | P 1   | 15   | 16,67%  |
|   |     |     |     |     |     |     |     | P     | 26   | 28,89%  |
|   |     |     |     |     |     |     |     | Total | 90   | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Posteriormente, realizou-se o cálculo dos custos por função executada no processo, conforme mostra a Tabela 28. Os custos de mão de obra e o insumo de energia elétrica foram distribuídos percentualmente, conforme o tempo médio gasto em cada função, pois no decorrer do processo notou-se que a cada atividade executada, havia a intervenção apenas de um funcionário e não ocorria em paralelo com outras atividades.

Tabela 28 – Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo)  | Tempo médio de<br>execução da função<br>(Segundos) | Custo de<br>mão-de-<br>obra por<br>função<br>executada | Custo de<br>energia<br>elétrica<br>por<br>função<br>executada | Somatório<br>dos custos<br>por<br>função<br>executada | Custo (%)      |
|--------------|---|--|--|---|---|----------------|
| Q            | Receber comunicado  | 10   | R\$ 0,12   | R\$ 0,21  | R\$ 0,33  | 1,32%          |
| J            | Carregar MP   | 90   | R\$ 1,05   | R\$ 1,90  | R\$ 2,95  | 11,92%         |
| K            | Transportar MP  | 180  | R\$ 2,09   | R\$ 3,81  | R\$ 5,90  | 23,84%         |
| L            | Entregar MP   | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 7,95%          |
| I            | Receber pedido com<br>localização                                       | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 7,95%          |
| M            | Verificar disponibilidade   | 120  | R\$ 1,40   | R\$ 2,54  | R\$ 3,93  | 15,89%         |
| N            | Solicitar ao fornecedor com<br>previsão de entrega pré-<br>estabelecida | 55   | R\$ 0,64   | R\$ 1,16  | R\$ 1,80  | 7,28%          |
| O            | Realizar pedido com<br>localização                                      | 120  | R\$ 1,40   | R\$ 2,54  | R\$ 3,93  | 15,89%         |
| P            | Receber MP  | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 7,95%          |
| <b>Total</b> |   | <b>755</b>   | <b>R\$ 8,78</b>  | <b>R\$ 15,97</b>  | <b>R\$ 24,75</b>                                      | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em seguida, o cálculo do VE agregado de cada função foi obtido através da divisão entre os percentuais do GI e os custos por função, conforme mostra a Tabela 29.

Tabela 29 – Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade da Flexibilidade

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo)                                 | Função - GI (%) | Custo (%)      | VE          | Classificação do VE |
|--------------|--|-----------------|----------------|-------------|---------------------|
| Q            | Receber comunicado   | 2,22%           | 1,32%          | 1,67        | Ótimo               |
| J            | Carregar MP  | 11,11%          | 11,92%         | 0,93        | Adequado            |
| <b>K</b>     | <b>Transportar MP</b>  | <b>7,78%</b>    | <b>23,84%</b>  | <b>0,32</b> | <b>Crítico</b>      |
| L            | Entregar MP  | 17,78%          | 7,95%          | 2,23        | Ótimo               |
| I            | Receber pedido com localização                                   | 8,89%           | 7,95%          | 1,11        | Ótimo               |
| <b>M</b>     | <b>Verificar disponibilidade</b>                                 | <b>0,00%</b>    | <b>15,89%</b>  | <b>0,01</b> | <b>Crítico</b>      |
| N            | Solicitar ao fornecedor com previsão de entrega pré-estabelecida | 6,67%           | 7,28%          | 0,91        | Adequado            |
| O            | Realizar pedido com localização                                  | 16,67%          | 15,89%         | 1,04        | Ótimo               |
| P            | Receber MP   | 28,89%          | 7,95%          | 3,63        | Ótimo               |
| <b>Total</b> |  | <b>100,00%</b>  | <b>100,00%</b> |             |                     |

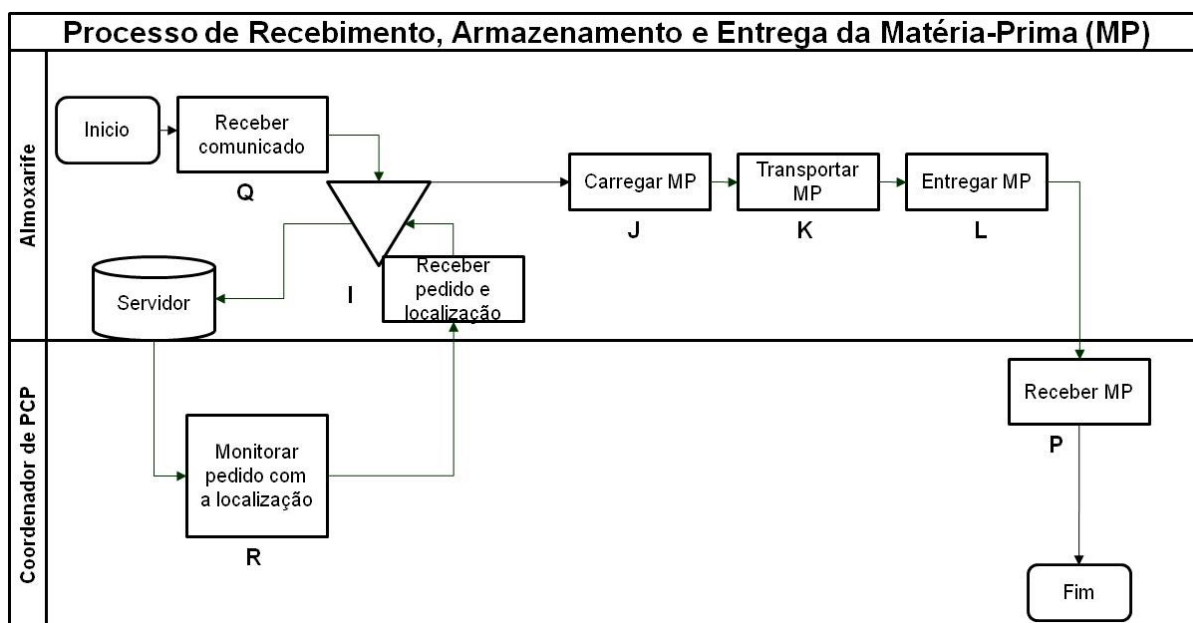
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com o VE agregado por função do processo obtido, observou-se que as funções (K) “transportar MP” e (M) “verificar disponibilidade” continuaram críticas em VE, pois o sistema de simulação não teve impacto direto em suas execuções e nem em seus custos.

#### 6.2.6. Valor Econômico Agregado por Função do Processo na Etapa de Pós-Digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo

Para o cálculo do VE do processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP após a digitalização ocorrida na sexta semana, procedeu-se com o seu novo mapeamento. A Figura 58 apresenta as suas novas atividades e respectivas funções.

Figura 58 – Fluxograma do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que a função (M) “verificar disponibilidade” deixou de ser executada pelo coordenador de PCP, pois a instalação do sistema de monitoramento de dados nos computadores do setor automatizou esta atividade com base no fluxo de saída de MP. Desta forma, o funcionário passou apenas a monitorar o “*status*” e a localização dos pedidos para eventuais prestações de contas.

Em seguida, efetuou-se o levantamento do GI de cada função, por meio da aplicação do diagrama de Mudge, junto aos funcionários atuantes no processo. O resultado é apresentado na Figura 59.

Figura 59 – Diagrama de Mudge para o Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo

| Q | J   | K   | L   | I   | R   | P            | Peso | GI      |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|------|---------|
| Q | J 3 | Q 3 | L 3 | I 3 | R 3 | P 5          | 3    | 4,92%   |
|   | J   | J 4 | J 3 | J 3 | J 1 | P 3          | 14   | 22,95%  |
|   |     | K   | L 1 | I 2 | R 3 | P 5          | 0    | 0,00%   |
|   |     |     | L   | L 2 | L 2 | P 1          | 8    | 13,11%  |
|   |     |     |     | I   | I 3 | P 5          | 8    | 13,11%  |
|   |     |     |     |     | R   | P 3          | 6    | 9,84%   |
|   |     |     |     |     |     | P            | 22   | 36,07%  |
|   |     |     |     |     |     | <b>Total</b> | 61   | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Posteriormente, realizou-se o cálculo dos custos por função executada no processo, conforme mostra a Tabela 30. Os custos de mão de obra e o insumo de energia elétrica foram distribuídos percentualmente, conforme o tempo médio gasto em cada função, pois no decorrer do processo percebeu-se que a cada atividade executada, havia a intervenção apenas de um funcionário e não existiam outras atividades em paralelo acontecendo.

Tabela 30 - Matriz Custo por Função do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo)    | Tempo médio de<br>execução da função<br>(Segundos) | Custo de<br>mão-de-<br>obra por<br>função<br>executada | Custo de<br>energia<br>elétrica<br>por<br>função<br>executada | Somatório<br>dos custos<br>por<br>função<br>executada | Custo (%)      |
|--------------|-------------------------------------|--|--|---|---|----------------|
| Q            | Receber comunicado                  | 10   | R\$ 0,12   | R\$ 0,21  | R\$ 0,33  | 1,94%          |
| J            | Carregar MP                         | 90   | R\$ 1,05   | R\$ 1,90  | R\$ 2,95  | 17,48%         |
| K            | Transportar MP                      | 180  | R\$ 2,09   | R\$ 3,81  | R\$ 5,90  | 34,95%         |
| L            | Entregar MP                         | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 11,65%         |
| I            | Receber pedido com<br>localização   | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 11,65%         |
| R            | Monitorar pedido com<br>localização | 55   | R\$ 0,64   | R\$ 1,16  | R\$ 1,80  | 10,68%         |
| P            | Receber MP                          | 60   | R\$ 0,70   | R\$ 1,27  | R\$ 1,97  | 11,65%         |
| <b>Total</b> |                                     | <b>515</b>   | <b>R\$ 5,99</b>  | <b>R\$ 10,89</b>  | <b>R\$ 16,88</b>                                      | <b>100,00%</b> |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na sequência, o cálculo do VE agregado de cada função foi obtido através da divisão entre os percentuais de GI e os custos por função, conforme mostra a Tabela 31.

Tabela 31 - Avaliação Numérica do Valor Econômico das Funções do Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP na Etapa de Pós-digitalização Orientado à Estratégia de Competitividade do Custo

| Código       | Funções<br>(Verbo + Substantivo)    | Função - GI (%) | Custo (%)      | VE          | Classificação do VE |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|----------------|-------------|---------------------|
| Q            | Receber comunicado                  | 4,92%           | 1,94%          | 2,53        | Ótimo               |
| J            | Carregar MP                         | 22,95%          | 17,48%         | 1,31        | Ótimo               |
| <b>K</b>     | <b>Transportar MP</b>               | <b>0,00%</b>    | <b>34,95%</b>  | <b>0,01</b> | <b>Crítico</b>      |
| L            | Entregar MP                         | 13,11%          | 11,65%         | 1,12        | Ótimo               |
| I            | Receber pedido com<br>localização   | 13,11%          | 11,65%         | 1,12        | Ótimo               |
| R            | Monitorar pedido com<br>localização | 9,84%           | 10,68%         | 0,92        | Adequado            |
| P            | Receber MP                          | 36,07%          | 11,65%         | 3,09        | Ótimo               |
| <b>Total</b> |                                     | <b>100,00%</b>  | <b>100,00%</b> |             |                     |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com o VE agregado por função do processo obtido, observou-se que a função (K) “transportar MP” continuou crítica em VE. Porém devido a incapacidade de implementação de um *hardware* de máquina colaborativa destinado ao transporte de MP, por questões de

espaço físico no ambiente da empresa, a gerência entendeu que a digitalização do processo apresentou resultados satisfatórios.





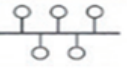







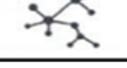





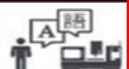



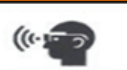





Ressalta-se, também, que no decorrer das seis semanas de investigação a empresa XYZ não reduziu o número de funcionários do setor, certa vez que, estes passaram atuar em outros novos processos que começaram a surgir durante a digitalização (e.g. importação do inventário de MP para o servidor, a etiquetagem da MP, testes e manutenção das *tags* e etiquetas e *etc.*).

Além disso, segundo a gerência, o aumento no custo de energia elétrica no mês de julho já era esperado, pois imaginava-se que com a instalação de diversos novos equipamentos, em especial os *hardwares* de servidor e os aparelhos de climatização, necessários para mantê-los em funcionamento de maneira ininterrupta, o consumo deste insumo iria aumentar. Porém, a empresa já possui um plano para a redução deste custo. Para isso, está sendo previsto a instalação de módulos de geração de energia elétrica através de placas fotovoltaica para atender a demanda deste e de outros setores estratégicos na fábrica.

### 6.3. 2ºFASE - AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA DIGITALIZAÇÃO DO PROCESSO NAS ETAPAS DE PRÉ-DIGITALIZAÇÃO E PÓS-DIGITALIZAÇÃO ORIENTADA À CADA ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE

Para a execução da segunda fase da aplicação do modelo procedeu-se com a análise *in loco* do desempenho de cada camada de aplicação *Toolbox Industrie 4.0* para a manufatura e para o produto, antes e após de cada incorporação tecnológica semanal, conforme é apresentado nas Figuras 60 e 61.

Figura 60 - Avaliação da Maturidade do Processo nas Etapas de Pré-Digitalização e Pós-Digitalização com *Toolbox Industrie 4.0* para Manufatura

| Camadas de Aplicação                               | Níveis de Desempenho   |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|  | <b>Manufatura</b>  |  |  |  |  |
| Processamento de dados na produção                 | <br>Nenhum processamento de dados                                   | <br>Armazenamento de dados para documentação                            | <br>Análise de dados para monitoramento dos processos                          | <br>Avaliação dos dados para planejamento e controle do processo                          | <br>Processo automatizado de planejamento e controle do processo            |
| Comunicação entre Máquinas (M2M)                   | <br>Nenhuma comunicação   | <br>Interface <i>Fieldbus</i>   | <br>Interface para Ethernet Industrial   | <br>Máquinas que dispõem de acesso a Internet   | <br>Comunicação M2M via Internet  |
| Conectividade corporativa com a produção           | <br>Nenhuma rede entre a produção e outras divisões corporativas    | <br>Troca de informações via email ou telefone                          | <br>Formato de dados e regra para troca de dados padronizados                  | <br>Formato de dados padronizado e servidor em rede                                       | <br>Soluções de TI em rede  |
| Infraestrutura de troca de informações na produção | <br>Troca de informações via email ou telefone                      | <br>Servidor de dados central na produção                               | <br>Compartilhamento de dados via portal de internet                           | <br>Troca de informações automatizada   | <br>Fornecedores estão completamente integrados na configuração do processo |
| Interface Homem-Máquina                            | <br>Não há troca de informação entre homem e máquina              | <br>Uso de dispositivos locais para visualização de dados             | <br>Monitoramento e controle da produção centralizado                        | <br>Uso de dispositivos móveis  | <br>Realidade Aumentada   |
| Eficiência para pequenos lotes de produção         | <br>Meio de produção rígido de baixa proporção de peças idênticas | <br>Uso de meio de produção flexível e peças idênticas entre produtos | <br>Meio de produção flexível e construção de produtos com estrutura modular | <br>Produção flexível de produtos modulares dentro da empresa dirigidas pelo componente | <br>Produção modular em rede de valor dirigida pelo componente            |























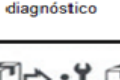
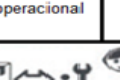






**Legenda:**

- 1º Semana – Pré-digitalização
- 2º Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da qualidade
- 3º Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da velocidade
- 4º Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da pontualidade
- 5º Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da flexibilidade
- 6º Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia do custo







Fonte: Elaborado pelo Autor.



Figura 61 - Avaliação da Maturidade do Processo nas Etapas de Pré-Digitalização e Pós-Digitalização com *Toolbox Industrie 4.0* para Produto

| Camadas de Aplicação   | Níveis de Desempenho   |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|---|
|  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5   |
| <b>Integração de sensores/ atuadores</b>                                 | <br>Nenhuma utilização de sensores/ atuadores | <br>Sensores e atuadores estão incorporados/ integrados | <br>Dados dos sensores são processados pelo produto                          | <br>Dados são avaliados e interpretados pelo produto para análise         | <br>O produto reage autonomamente com a base nos dados obtidos |
| <b>Comunicação/ conectividade</b>  | <br>Nenhuma interface no produto              | <br>O produto envia e ou recebe sinais por input/output | <br>Produto dispõe de interface de interface Fieldbus                        | <br>Produto dispõe da interface para Ethernet industrial                  | <br>Produto dispões de acesso a internet                       |
| <b>Funcionalidades para armazenamento de dados e troca de informação</b> | <br>Nenhuma Funcionalidade                    | <br>capacidade para identificação única                 | <br>O produto dispõe de armazenamento de dados passivo                       | <br>Produto com armazenamento de dados para troca autônoma de informações | <br>Troca de dados e informações com parte integrante          |
| <b>Monitoramento</b>   | <br>Nenhum monitoramento através do produto  | <br>Deteccção de falhas                                | <br>Registro da condição operacional para diagnóstico                       | <br>Prognóstico da própria capacidade operacional                        | <br>Decisão autônomas para controle                           |
| <b>Serviços de TI relacionados ao produto</b>                            | <br>Nenhum serviço                          | <br>Serviço através de portais online                 | <br>Execução do serviço diretamente sobre o produto                        | <br>Execução autônoma de serviços                                       | <br>Plena integração na infraestrutura de serviços de TI     |
| <b>Modelos de negócio sobre o produto</b>                                | <br>Ganho através da venda dos produtos     | <br>Venda e consultoria sobre o produto               | <br>Venda, consultoria e adaptação de produtos a necessidades dos clientes | <br>Venda adicional de serviços relacionados ao produto                 | <br>Venda de função do produto                               |

**Legenda:**

-  1° Semana – Pré-digitalização
-  2° Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da qualidade
-  3° Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da velocidade
-  4° Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da pontualidade
-  5° Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia da flexibilidade
-  6° Semana – Pós-digitalização orientado à estratégia do custo

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Através da avaliação da maturidade da digitalização do processo na primeira semana foi possível observar que a manufatura já apresentava um certo nível de digitalização antes das incorporações tecnológicas, pois nas camadas de aplicação “processamento de dados na produção”, “conectividade corporativa com a produção” e “eficiência para pequenos lotes de produção” o nível de desempenho era superior ao valor um.

Em contrapartida na avaliação da digitalização do produto fruto do processo, ou seja, a MP recebida, armazenada e transportada, não se identificou níveis de desempenho superiores a um em nenhuma das camadas de aplicação avaliadas.

Logo, concluiu-se que os fatores responsáveis pelo nível superior a um da digitalização encontrada inicialmente na manufatura são:

- Utilização de banco de dados para o armazenamento das informações referentes ao estoque;
- A formalização por e-mail dos pedidos de MP dos demais setores da empresa XYZ;
- O hábito dos almoxarifes mais experientes de levarem produtos correlatos aos pedidos em suas entregas.

Já na avaliação da maturidade da digitalização do processo orientado à estratégia competitiva da qualidade, ocorrida na segunda semana, constatou-se que a manufatura melhorou o desempenho nas camadas “processamento de dados na produção”; “comunicação entre máquinas”, “infraestrutura de troca de informações na produção”, “interface homem-máquina” e “eficiência para pequenos lotes de produção”.

Enquanto, o produto apresentou um resultado superior a semana anterior nas categorias de “integração de sensores”, “comunicação”, “funcionalidades para armazenamento de dados e troca de informação” e “monitoramento”.

Por consequência, concluiu-se que os fatores responsáveis pelo nível superior da digitalização encontrada nesta segunda semana e relação à anterior foram:

- Instalação das cancelas automáticas para controle do acesso ao setor de estoque de MP;
- Instalação de uma estrutura de conexão à rede digital com *hardwares* de cabeamento, *modem* e *switch*;
- Instalação do portal identificador de radiofrequência junto às cancelas;
- Instalação das etiquetas de identificação por radiofrequência em todas MP's presentes no estoque e a serem entregues pelo fornecedor;
- Fornecimento de *tags* de identificação por radiofrequência para fornecedores e funcionários terem acesso ao setor de estoque de MP;

- Fornecimento de *tablets* e *smartphones* para os funcionários controlarem em tempo real o estoque;
- Instalação de um servidor *rack* para armazenamento das informações de estoque;
- Instalação do aplicativo de controle das cancelas nos *tablets* e *smartphones* para o monitoramento do acesso no estoque;
- Instalação do sistema integrado de gestão empresarial nos computadores da empresa e sua versão *mobile* nos *tablets* e *smartphones* para análise em tempo real dos dados no estoque;

Na semana seguinte, durante a avaliação da maturidade da digitalização do processo orientado à estratégia competitiva da velocidade averiguou-se que a manufatura melhorou o desempenho nas camadas “conectividade corporativa com a produção” e “infraestrutura de troca de informações na produção”, em relação à semana anterior, enquanto o produto não apresentou resultado superior, durante o mesmo período de avaliação.

Consequentemente, concluiu-se que o fator responsável pelo nível superior da digitalização encontrada nesta terceira semana em relação à anterior foi a habilitação do envio de mensagens automáticas, por meio de aplicativo de mensagem instantânea, no sistema de gestão empresarial e no aplicativo de controle da cancela.

Posteriormente, na avaliação da maturidade da digitalização do processo orientado à estratégia competitiva da pontualidade, realizada na quarta semana, confirmou-se que a manufatura melhorou o desempenho na camada de “infraestrutura de troca de informações na produção” em relação à semana anterior, enquanto o produto não apresentou resultado superior, durante o mesmo período de avaliação.

Por consequência, concluiu-se que o fator responsável pelo nível superior da digitalização encontrada nesta semana e relação à anterior foi a instalação nos *tablets* e *smartphones* do aplicativo de localização via rádio frequência das etiquetas e *tags*. Isto permitiu o controle em tempo real da posição dos fornecedores, funcionários e MP, dentro do ambiente da fábrica.

Na sequência, durante a avaliação da maturidade da digitalização do processo orientado à estratégia competitiva da flexibilidade, executada na quinta semana, constatou-se que a manufatura melhorou o desempenho na camada de “processamento de dados na produção” em relação à semana anterior, enquanto o produto não apresentou resultado superior, durante o mesmo período de avaliação.

Consequentemente, concluiu-se que o fator responsável pelo nível superior da digitalização encontrada nesta quinta semana e relação à anterior foi a instalação do sistema

de simulação discreta nos computadores do setor. Esta implementação teve por finalidade a previsão das próximas entregas dos fornecedores com base nos históricos passados, tendo vista, que muitos deles trabalham com contrato de demanda junto a XYZ.

Por último, a avaliação da maturidade da digitalização do processo orientado à estratégia competitiva do custo, ocorrida na sexta e última semana, averiguou-se que a manufatura melhorou novamente o desempenho na camada de “processamento de dados na produção” em relação à semana anterior, enquanto o produto não apresentou resultado superior, durante o mesmo período de avaliação.

Consequentemente, concluiu-se que o fator responsável pelo nível superior da digitalização encontrada nesta última semana e relação à anterior foi a instalação do sistema de monitoramento de dados nos computadores do setor. Esta implementação teve por finalidade aumentar o controle sobre os dados e informações que passam no setor, além de automatizar o processo de pedidos de MP junto aos fornecedores, com base no fluxo de saída de MP.

#### 6.4. 3ª FASE - AVALIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE DO PROCESSO NAS ETAPAS DE PRÉ-DIGITALIZAÇÃO E PÓS-DIGITALIZAÇÃO ORIENTADA À CADA ESTRATÉGIA DE COMPETITIVIDADE

Para a realização da terceira fase da aplicação do modelo avaliou-se antes e após a cada incorporação tecnológica semanal, os indicadores de desenvolvimento das estratégias competitivas no processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP, os quais já eram monitorados pela XYZ, antes da pesquisa.

Para apresentar os resultados desta avaliação, a Tabela 32, foi elaborada com as informações destes indicadores para cada semana de incorporação tecnológica no setor de estoque de MP da XYZ e suas respectivas variações percentuais semanais e acumuladas no período.

Tabela 32 – Evolução dos Indicadores para cada Estratégia Competitiva no Processo de Recebimento, Armazenamento e Entrega de MP durante as Incorporações Tecnológicas Semanais

| Capacidades<br>Indicadores   | "Fazer certo"<br>Média de pedidos de MP entregues em uma semana | "Fazer rápido"<br>Tempo médio de entrega de um pedido de MP em uma semana | "Fazer Pontualmente"<br>Média de pedidos de MP em atraso em uma semana | "Mudar o que está sendo feito"<br>Número de atividades distintas realizadas por um funcionário em uma semana | "Fazer barato"<br>Custo de recebimento, armazenamento e entrega de MP em uma semana |
|------------------------------|---|---|--|--|---|
| 1º Semana                    | 218 pedidos   | 29 minutos e 30 segundos  | 9 pedidos  | 15 atividades  | R\$ 7.719,15  |
| <b>Varição Semanal (%)</b>   | <b>0,00%</b>  | <b>0,00%</b>  | <b>0,00%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>0,00%</b>  |
| <b>Varição Acumulada (%)</b> | <b>0,00%</b>  | <b>0,00%</b>  | <b>0,00%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>0,00%</b>  |
| 2º Semana                    | 278 pedidos   | 22 minutos  | 12 pedidos   | 15 atividades  | R\$ 7.341,05  |
| <b>Varição Semanal (%)</b>   | <b>27,52%</b>   | <b>-25,42%</b>  | <b>+33,33%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>-4,90%</b>   |
| <b>Varição Acumulada (%)</b> | <b>27,52%</b>   | <b>-25,42%</b>  | <b>+33,33%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>-4,90%</b>   |
| 3º Semana                    | 228 pedidos   | 16 minutos e 10 segundos  | 13 pedidos   | 15 atividades  | R\$ 7.248,87  |
| <b>Varição Semanal (%)</b>   | <b>-17,99%</b>  | <b>-26,52%</b>  | <b>+8,33%</b>  | <b>0,00%</b>   | <b>-1,26%</b>   |
| <b>Varição Acumulada (%)</b> | <b>4,59%</b>  | <b>-45,20%</b>  | <b>+44,44%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>-6,09%</b>   |
| 4º Semana                    | 265 pedidos   | 13 minutos e 40 segundos  | 6 pedidos  | 15 atividades  | R\$ 7.122,35  |
| <b>Varição Semanal (%)</b>   | <b>16,23%</b>   | <b>-15,46%</b>  | <b>-53,85%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>-1,75%</b>   |
| <b>Varição Acumulada (%)</b> | <b>21,56%</b>   | <b>-53,67%</b>  | <b>-33,33%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>-7,73%</b>   |
| 5º Semana                    | 283 pedidos   | 12 minutos e 35 segundos  | 5 pedidos  | 18 atividades  | R\$ 7.003,21  |
| <b>Varição Semanal (%)</b>   | <b>6,79%</b>  | <b>-7,93%</b>   | <b>-16,67%</b>   | <b>+20,00%</b>   | <b>-1,67%</b>   |
| <b>Varição Acumulada (%)</b> | <b>29,82%</b>   | <b>-57,34%</b>  | <b>-44,44%</b>   | <b>+20,00%</b>   | <b>-9,27%</b>   |
| 6º Semana                    | 290 pedidos   | 8 minutos e 35 segundos   | 3 pedidos  | 18 atividades  | R\$ 4.895,18  |
| <b>Varição Semanal (%)</b>   | <b>2,47%</b>  | <b>-31,79%</b>  | <b>-40,00%</b>   | <b>0,00%</b>   | <b>-30,10%</b>  |
| <b>Varição Acumulada (%)</b> | <b>33,03%</b>   | <b>-70,90%</b>  | <b>-66,67%</b>   | <b>+20,00%</b>   | <b>-36,58%</b>  |

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao examinar a evolução dos indicadores, entre a primeira semana da etapa de pré-digitalização e a segunda semana da etapa de pós-digitalização, observou-se, não apenas, a maior variação positiva na “média de pedidos entregues em uma semana” (+27,52%), mas sim, uma queda no “tempo médio de entrega de MP em uma semana” (-25,42%) e no “custo de recebimento, armazenamento e entrega de MP em uma semana” (-4,90%). Enquanto, a “média de pedidos de MP em atraso em uma semana” sofreu um aumento de 33,33%, graças a demanda represada existente, que não era computada pela empresa. Já o “número de atividades distintas realizadas por um funcionário em uma semana” não sofreu alteração no período. Logo, entendeu-se que a digitalização ocorrida na segunda semana priorizou a capacidade do processo em “fazer certo”, pois trouxe uma capacidade analítica superior ao processo, em relação a semana anterior. Conseqüentemente, afetou positivamente a capacidade de “fazer rápido”, enquanto as demais capacidades que sofreram alterações foram por motivos externos a digitalização.

Durante a avaliação do progresso dos indicadores, entre a segunda e a terceira semana da etapa de pós-digitalização, averiguou-se, não somente, a segunda maior redução no “tempo médio de entrega de MP em uma semana” (-26,52%), mas sim, um desempenho ligeiramente superior no “custo de recebimento, armazenamento e entrega de MP em uma semana” (-1,61%). Ao passo que, a “média de pedidos de MP em atraso em uma semana” continuou sofrendo um aumento (+8,33%) graças a demanda represada ainda existente e o “número de atividades distintas realizadas por um funcionário em uma semana” não sofreu alteração. Por consequência, compreendeu-se que a digitalização ocorrida na terceira semana priorizou a capacidade do processo em “fazer rápido”, por possibilitar uma comunicação mais dinâmica entre os participantes do processo.

Ao averiguar a progressão dos indicadores, entre a terceira e a quarta semana da etapa de pós-digitalização, apurou-se, não apenas, a maior redução na “média de pedidos de MP em atraso em uma semana” (-53,85%), e sim, uma redução conjunta no “tempo médio de entrega de pedidos de MP em uma semana” (-15,46%). Enquanto, o indicador “custo de recebimento, armazenamento e entrega de MP em uma semana” sofreu uma variação moderada de -1,67%. Já, o “número de atividades distintas realizadas por um funcionário em uma semana” não modificou. Portanto, interpretou-se que a digitalização ocorrida na quarta semana priorizou a capacidade do processo em “fazer pontualmente”, por possibilitar uma análise em tempo real da localização de cada MP no processo. Conseqüentemente, esta digitalização afetou positivamente a capacidade de “fazer rápido”, enquanto as demais capacidades que sofreram poucas variações foram por motivos externos a digitalização.

Ao examinar o progresso dos indicadores, entre a quarta e a quinta semana da etapa de pós-digitalização, averiguou-se, não somente, o maior crescimento no “número de atividades distintas realizadas por um funcionário em uma semana” (+20,00%), mas sim, uma redução no “tempo médio de entrega de pedidos de MP em uma semana” e na “média de pedidos de MP em atraso em uma semana” de -7,93% e -16,67%, respectivamente. Enquanto, os indicadores “média de pedidos de MP entregues em uma semana” e “custo de recebimento, armazenamento e entrega de MP em uma semana” sofreram uma ligeira variação. Logo, compreendeu-se que a digitalização ocorrida na quinta semana priorizou a capacidade do processo em “mudar o que está sendo feito”, por apresentar possibilidades e sugestões no processo através de simulações com base em históricos passados. Conseqüentemente, afetou positivamente as capacidades de “fazer rápido” e “fazer pontualmente”, enquanto as demais capacidades que sofreram ligeiras variações, foram por motivos externos a digitalização.

Ao averiguar a evolução dos indicadores, entre a quinta e a sexta semana da etapa pós-digitalização, observou-se, não apenas, a maior redução no “custo de recebimento, armazenamento e entrega de MP em uma semana” (-30,10%), mas também, o maior decréscimo no “tempo médio de entrega de pedidos de MP em uma semana” (-31,79%). Além disso, ocorreu uma redução considerável na “média de pedidos de MP em atraso em uma semana” (-40,00%). Enquanto, o indicador de “média de pedidos de MP entregues em uma semana” sofreu uma ligeira variação de +2,47%. Já o “número de atividades distintas realizadas por um funcionário em uma semana” não sofreu alteração no período. Conseqüentemente, entendeu-se que a digitalização ocorrida na sexta semana priorizou a capacidade do processo de “fazer barato”, por automatizar o processo de solicitação de MP junto aos fornecedores, evitando altos estoques de materiais na empresa e os pedidos equivocados. Portanto, essas mudanças afetaram positivamente as capacidades de “fazer rápido” e “fazer pontualmente”, enquanto as demais capacidades que sofreram variações pouco substanciais foram por motivos externos a digitalização.

Com o termino dessas avaliações, constatou-se, ainda, que o modelo de apoio a digitalização desenvolvido neste trabalho teve a competência de tornar o processo analisado mais capaz, veloz, preciso, flexível e barato, de acordo com a variação acumulada total dos indicadores para o período de seis semanas de investigação.

## 6.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Com a finalização deste capítulo, observa-se que as avaliações desenvolvidas para a primeira fase de aplicação do modelo tiveram a capacidade de comprovar que a estrutura proposta consegue agregar Valor a um processo industrial. Logo, pode-se dizer que, o modelo proposto reduziu os custos do processo investigado, por sintetizar as atividades executadas pelos funcionários. De modo que, as atividades que estes indivíduos realizavam e não agregavam Valor ao processo, passaram a ser executadas pelos produtos tecnológicos implantados.

Constata-se ainda, que as avaliações desenvolvidas para a segunda fase de aplicação do modelo possuíram a capacidade de provar que a estrutura proposta pode digitalizar um processo. Afinal de contas, este foi avaliado antes e depois de cada intervenção semanal realizada, quanto a sua maturidade tecnológica, e apresentou determinado nível de evolução digital.

Por último, contempla-se que as avaliações desenvolvidas para a terceira fase de aplicação do modelo dispuseram da capacidade de autenticar a estrutura proposta, quanto sua competência em conceder ao processo a vantagem competitiva desejada. Lembrando que, por mais que se almeje orientar um processo a uma estratégia única e exclusiva, para usufruir de sua vantagem competitiva, isso não irá ocorrer. Tendo em vista, a estrutura de interdependência entre as estratégias competitivas, conforme o “Modelo do Cone de Areia”. Logo, o que ocorre na prática é a orientação a uma estratégia específica e o desenvolvimento do grupo de vantagens atrelado a ela e as demais estratégias inferiores, na base do “Cone”.

A partir dessas avaliações, pode-se concluir que os resultados práticos da aplicação do modelo proposto apresentaram-se dentro do esperado, ou seja, a estrutura elaborada tem capacidade de apoiar a digitalização de um processo interno a manufatura orientando-o a uma estratégia competitiva e agregando Valor ao mesmo.



## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO

Este capítulo descreve as conclusões do estudo e apresenta sugestões para a realização de trabalhos futuros.

### 7.1. CONCLUSÕES

Ao início desse estudo, formulou-se um problema de pesquisa que resultou em um questionamento, o qual é oportuno aqui, que se façam algumas reflexões a seu respeito. A questão indagava sobre quais seriam tecnologias produtivas da Quarta Revolução Industrial necessárias para que a manufatura pudesse atender os princípios da I4.0, levando em conta as estratégias competitivas adotadas pela empresa. As respostas dessa pergunta surgiram mediante a execução de cinco fases de desenvolvimento, duas fases de análise e três fases de aplicação de um modelo teórico, elaboradas com base no atendimento e validação dos quatro objetivos específicos definidos.

Logo, para que estes objetivos fossem atingidos foi seguido as etapas do plano de trabalho de implementação e gerenciamento da metodologia de AV de Csillag (1995). Para isso, se fez a avaliação de trinta e três planos de trabalho com os mais diversos objetos e determinou-se um plano comum a todos.

Ademais, a escolha da metodologia de AV como instrumento de intervenção no trabalho propiciou a capacidade de identificar, agrupar, classificar e mensurar as funções de uma empresa de manufatura, com base no que se considera como Valor para ela, sendo no presente caso, as estratégias de competitividade no ambiente da manufatura de produto.

Quanto aos objetivos específicos, o primeiro deles “estabelecer a correlação entre as funções das tecnologias que compõe a I4.0 e as estratégias de competitividade da empresa”, apresentou como resultado, a hierarquização da relevância das funções notórias frente as estratégias de competitividade. Para sua realização foi preciso concretizar as quatro primeiras fases de desenvolvimento do modelo, ou seja, identificar as funções que compõe as tecnologias de estruturação de uma I4.0, determinar quais dessas funções eram notórias para empresas de manufatura, avaliar a percepção que essas empresas possuíam sobre essas funções e mensurar o desempenho dessas funções notórias para cada estratégia competitiva. Desta maneira, foi possível atender a primeira etapa do plano de trabalho, ou seja, definir o problema e coletar as informações para solucioná-lo.

Além disso, com o resultado obtido pela excussão das quatro primeiras fases desse modelo, o segundo objetivo específico “determinar os índices mínimos de desempenho das funções por estratégia de competitividade”, também foi conquistado.

Já o terceiro objetivo “estabelecer o equilíbrio das funções da manufatura no ambiente de I4.0”, desencadeou na definição de um conjunto tecnológico básico representante dos princípios de estruturação da I4.0, sendo este, estabelecido com base na seleção das funções notórias que representam os princípios da interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação, modularização e orientação a serviços. Logo, com o suporte desse conjunto tecnológico foi possível estipular o fator de corte para a seleção ordenada das tecnologias hierarquizadas por estratégia, pois com esses dispositivos ordenados, aquelas que contemplassem todos os equipamentos presentes no conjunto básico representante dos princípios de I4.0, definiriam as coletâneas tecnológicas base para cada estratégia. Dessa forma, pode-se identificar que a adição ordenada dos *softwares* de comunicação e informação, detecção e localização de objetos, simulação e detecção de dados, fraudes ou invasões a este conjunto tecnológico básico, retratavam mudanças estratégicas na velocidade, pontualidade, flexibilidade e custos das empresas, devido suas funções notórias trazerem sob sua incumbência respectivamente a percepção dessas vantagens. Consequentemente, conclui-se que o último objetivo: “definir as tecnologias básicas para a composição de um Sistema Físico-Cibernético de Produção que melhor representa cada estratégia” foi alcançado em paralelo, através da execução da quinta fase de desenvolvimento do modelo.

Por último, pode-se dizer a pergunta de pesquisa, aqui formulada, foi respondida, pois o uso do VE agregado as funções das tecnologias investigada possibilitou mensurar o benefício que cada tecnologia apresentava frente uma estratégia específica e assim, ordena-las pela sua relevância. Com essa ordenação foi possível estabelecer as coletâneas tecnológicas base de cada estratégia competitiva. Além disso, buscou-se testar na prática a aplicação destas coletâneas em um processo de recebimento, armazenamento e entrega de MP de uma indústria têxtil, e com essa aplicação, comprovou-se a capacidade do modelo em auxiliar uma empresa de manufatura na obtenção da maturidade de I4.0 planejada, em consonância com a vantagem competitiva. Portanto, pode-se concluir que a estrutura proposta é uma ferramenta de apoio a decisão na composição tecnológica industrial.

Logo, entende-se que o trabalho é inédito na literatura atual, pois não há registros de uma estrutura teórica que forneça este suporte à implementação progressiva das tecnologias de manufatura digital de acordo com a estratégia competitiva praticada pela empresa.

Portanto, pode-se constatar que a contribuição teórica do estudo está no uso do conceito do VE agregado a essas tecnologias de manufatura relacionado as estratégias de competitividade, os princípios da MA e os níveis de digitalização almejados pelas empresas, enquanto a contribuição prática encontra-se na estrutura gradual desenvolvida que vincula o VE ao processo de tomada de decisão da composição tecnológica.

Desta maneira, destaca-se com ponto forte do modelo a capacidade de fornecer o embasamento para as empresas de manufatura focarem seus esforços no conjunto de tecnologias que priorizam a estratégia escolhida em consonância com os princípios da MA e os níveis de digitalização esperados.

Em contrapartida, salienta-se a incapacidade do trabalho de avaliar o desenvolvimento da vantagem competitiva entre o caso de uma implementação progressiva das tecnologias (conforme realizado no estudo de caso) e a implantação do conjunto tecnológico integral para uma dada estratégia. Além de não ter sido possível incorporar no modelo uma ferramenta de avaliação dos setores industriais críticos a digitalização de seus processos.

## 7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do trabalho, percebeu-se a possibilidade de realização de novos estudos que fogem do escopo da pesquisa realizada, mas são de valia para o aprofundamento do tema desenvolvido, sendo eles:

- A avaliação dos indicadores de desenvolvimento das estratégias competitivas entre a implantação gradual das tecnologias e a implementação do conjunto tecnológico integral para cada estratégia;
- A proposição de um modelo de avaliação dos setores fabris críticos a digitalização, podendo este ser elaborado com base em outras ferramentas de avaliação de Valor;
- O desenvolvimento de uma antologia de indicadores de desempenho de digitalização de um processo de manufatura, por meio da identificação de indicadores de desempenho das tecnologias utilizadas na manufatura, essencialmente relacionadas às estratégias competitivas praticadas pela empresa.



## REFERÊNCIAS

ABRAMCZUK, A. A. **Engenharia e Análise do Valor para Cientistas, Empresários e Cia.** São Paulo: Scortecci, 2006.

ADAMIK, A.; NOWICKI, M. Barriers of creating competitive advantage in the age of industry 4.0: conclusions from international experience. In: 10TH CONFERENCE ON MANAGEMENT OF ORGANIZATIONS DEVELOPMENT, 2020, Munich. **Contemporary Challenges in Cooperation and Coopetition in the Age of Industry 4.0.** Springer, Cham, 2020. p. 3-42.

AGOSTINO, I. R. S. *et al.* Using a Digital Twin for Production Planning and Control in Industry 4.0. **Scheduling in Industry 4.0 and Cloud Manufacturing**, v.1, n.3, p.39-60, 2020.

ALLES, M. G. *et al.* Reporting 4.0: Business reporting for the age of mass customization. **Journal of Emerging Technologies in Accounting**, v. 18, n. 1, p. 1-15, 2021.

AMMAR, M.; RUSSELLO, G.; CRISPO, B. Internet of Things: A survey on the security of IoT frameworks. **Journal of Information Security and Applications**, v. 38, n.1, p. 8-27, 2018.

ANDERL, R. Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. In: 19<sup>TH</sup> INTERNATIONAL SEMINAR ON HIGH TECHNOLOGY INNOVATIONS IN THE PRODUCT DEVELOPMENT, 2014, Piracicaba. **Proceedings of the 19<sup>th</sup> International seminar on high technology Innovations in the Product Development.** Piracicaba: UNIMEP, 2014. p. 1-13.

\_\_\_\_\_. Industrie 4.0: Fundamentals, Scenarios for Application and Strategies for Implementation. **Diálogo Brasil-Alemanha de Ciência, Pesquisa e Inovação**, v.1, n.4, p. 1-30, 2015.

\_\_\_\_\_. Industrie 4.0 – Digital transformation in product engineering and production. In: 21<sup>ST</sup> INTERNATIONAL SEMINAR ON HIGH TECHNOLOGY-SMART PRODUCTS AND SMART PRODUCTION, 2016, Piracicaba. **Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Seminar on High Technology-Smart Products and Smart Production.** Piracicaba: UNIMEP, 2016. p.1-15.

BABICEANU, R. F.; SEKER, R. Cybersecurity and Resilience Modelling for Software-Defined Networks-Based Manufacturing Applications. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SERVICE ORIENTATION IN HOLONIC AND MULTI-AGENT MANUFACTURING, 2016, Lisboa. **Proceedings of the International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing.** New York: Springer, 2016. p.167-176.

BASSO, J. L. **Engenharia e Análise do Valor mais as Abordagens da Administração, Contabilidade e Gerenciamento do Valor:** um guia pratico para aplicação: interfaces de EAVx JIT x TQM e outros programas. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais, 1991.

BATEMAN, T. S.; SNELL, S. A. **Management:** Leading & collaborating in a competitive world. New York:McGraw-Hill, 2015.

BIGLIARDI, B.; CASELLA, G.; BOTTANI, E. Industry 4.0 in the logistics field: A bibliometric analysis. **IET Collaborative Intelligent Manufacturing**, v. 3, n. 1, p. 4-12, 2021.

BLUMENAU. Camara de Vereadores de Blumenau. Lei complementar N°1028. Blumenau, SC, 2015.

BÖKEN, D.; SCHLUSE, M.; ROSSMANN, J. Improving the Understanding of a Remote Environment by Immersive Man-Machine Interaction. In: **Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021**. Springer, Cham, 2022. p. 127-139.

BONNARD, R. *et al.* Big data/analytics platform for Industry 4.0 implementation in advanced manufacturing context. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 117, n. 5, p. 1959-1973, 2021.

BRETTEL, M. *et al.* How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

BUXMANN, P.; HESS, T.; RUGGABER, R. Internet of services. **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 5, 2009.

BYTHEWAY, C. W. Basic function determination technique. In: SOCIETY OF AMERICAN VALUE ENGINEERS 5<sup>TH</sup> NATIONAL CONFERENCE, 1965, Chicago. **Proceedings of the Society of American Value Engineers 5<sup>Th</sup> National Conference**. Mount Royal: SAVE, 1965. p. 21-23.

\_\_\_\_\_. **FAST Creativity and Innovation: Rapidly improving processes, product development and solving complex problems**. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2007.

CAUCHICK, P. A. M. *et al.* **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. 3<sup>a</sup> Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, Brasil, 2018.

CELESC. Tarifas e taxas de energia. **Centrais Eletricas de Santa Catriana**, Florianopolis, 2021. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tarifas-vigentes>>. Acesso em: 15 de outubro 2021.

CHAUHAN, C. *et al.* Barriers to industry 4.0 adoption an its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. **Jornal of Clenear Production**. v. 285, n. 1, p. 532-547, 2021.

CHEN, D. *et al.* Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, n. 1, p. 615-625, 2015.

CSILLAG, J. M. **Análise do Valor**. 4<sup>a</sup> Edição. São Paulo: Atlas, 1995.

DAFFLON, B. *et al.* The challenges, approaches, and used techniques of CPS for manufacturing in Industry 4.0: a literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 113, n. 7, p. 2395-2412, 2021.

DE ABREU, R. C. L. **Análise de valor**: um caminho criativo para a otimização dos custos e do uso dos recursos. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1995.

DEANE, P. M. **The First Industrial Revolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

DOS SANTOS, L.M.A.L. *et al.* Industry 4.0 collaborative networks for industrial performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.31, n.8, 2020.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. **IEEE industrial electronics magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

DUAN, L.; DA XU, L.. Data Analytics in Industry 4.0: a survey. **Information Systems Frontiers**, v.5, n.4, p. 1-17, 2021.

FALLON, C. **Value Analysis**. 2ªEdition. Washington: Miles Value Foundation, 1980.

FAN, Y. *et al.* A digital-twin visualized architecture for Flexible Manufacturing System. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 60, n.1, p. 176-201, 2021.

FERDOWS, K.; DE MEYER, A. Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory. **Journal of Operations Management**, v. 9, n. 2, p.168-184, 1990.

FIRU, A. C. *et al.* Virtual reality in the automotive field in industry 4.0. **Materials Today: Proceedings**, v. 45, n.1, p. 4177-4182, 2021.

FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors**. New York: Springer, 2010.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, n.5, p. 15-26, 2019.

FRAZZON, E. M. *et al.* Manufacturing networks in the era of digital production and operations: A socio-cyber-physical perspective. **Annual reviews in control**, v. 49, n.3, p.288-294, 2020.

FOWLER, T. C.; SNODGRASS, T. J.; Customer oriented *FAST* diagramming. In: SOCIETY OF AMERICAN VALUE ENGINEERS 12<sup>TH</sup> NATIONAL CONFERENCE, 1972, Atlanta. **Proceedings of the Society of American Value Engineers 12<sup>Th</sup> National Conference**. Mount Royal: SAVE, 1972. p. 31-35.

GAGE, W. L. **Value Analysis**. New York: McGraw-Hill, 1967.

GALE, B. T.; WOOD, R. C. **Gerenciando o Valor do Cliente: criando qualidade e serviços que os clientes pode ver**. São Paulo: Pioneira, 1996.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. Industry 4.0: Building the digital enterprise. **PricewaterhouseCooper**, 2016. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>. Acesso em: 07 de agosto 2020.

- GHEMAWAT, P. *Sustainable advantage*. Boston: Harvard Business Press, 1986.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª Edição. São Paulo: Atlas, 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.
- GOGOLÁK, L.; FÜRSTNER, I. Wireless sensor network aided assembly line monitoring according to expectations of industry 4.0. **Applied Sciences**, v. 11, n. 1, p. 25, 2021.
- GRABOWSKA, S.; SANIUK, S. Business Models in the Industry 4.0 Environment—Results of Web of Science Bibliometric Analysis. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 8, n. 1, p. 19, 2022.
- GRABOWSKA, Sandra; SANIUK, Sebastian. Assessment of the Competitiveness and Effectiveness of an Open Business Model in the Industry 4.0 Environment. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 8, n. 1, p. 57, 2022.
- GUO, X. *et al.* Case study of building information modeling implementation in infrastructure projects. **Transportation research record**, v. 2676, n. 2, p. 663-679, 2022.
- GUPTA, P.; SEETHARAMAN, A.; RAJ, J. R. The usage and adoption of cloud computing by small and medium businesses. **International Journal of Information Management**, v. 33, n. 5, p. 861-874, 2013.
- HAMEL, G.; PRAHALAD, C. K. **Competing for the Future**. 1ª Edição. Boston: Harvard Business Press, 1996.
- HAYES, R. H.; WHEELWRIGHT, S. C. **Restoring our Competitive Edge: competing through manufacturing**, New York: Wiley, 1984.
- HEIZER, J.; RENDER, B. **Operations Management**. 6ª Edição. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- HENDERSON, B. D. Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. **Journal of Business Strategy**, v. 6, n. 1, p. 94, 1985.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: 49<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 2016, Hawaii. **Proceedings 49<sup>th</sup> International Conference on System Sciences**. New Jersey: IEEE, 2016. p.3928-3937.
- INSS. Benefícios acima do mínimo têm reajuste de 5,45%. **Ministério do Trabalho e Previdência**, Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/inss/pt-br/assuntos/beneficios-acima-do-minimo-tem-reajuste-de-5-45>>. Acesso em: 15 de outubro 2021.
- JANUSKA, M.; KURKIN, O.; MILLER, A. Communication environment for small and medium enterprises. **International Business Information Management Association Review**, v.1, n.1, p. 217-226, 2010.



JAVAID, M. *et al.* Significance of sensors for industry 4.0: roles, capabilities, and applications. **Sensors International**, v. 2, n.1, p. 100-110, 2021.

JIANG, Z. *et al.* The evolution of production scheduling from Industry 3.0 through Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v.1, n.1, p. 1-21, 2021.

KAGERMANN, H. *et al.* Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. final report of the Industrie 4.0 Working Group. **Forschungsunion**, 2013. Disponível em: <<https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategicinitiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>>. Acesso em: 07 de agosto 2020.

KAMBATLA, K. *et al.* Trends in big data analytics. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v. 74, n. 7, p. 2561-2573, 2014.

KHAN, I. H.; JAVAID, M. Role of Internet of Things (IoT) in adoption of Industry 4.0. **Journal of Industrial Integration and Management**, v.3, n.1, p. 215-226, 2021.

KHIN, Sabai; KEE, Daisy Mui Hung. Factors influencing Industry 4.0 adoption. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.ahead-of-print, 2022.

KOUHINI, S. M. *et al.* LiFi positioning for industry 4.0. **IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics**, v. 27, n. 6, p. 1-15, 2021.

KOVALEV, I. V. *et al.* Analysis of software and hardware technologies of information-measuring systems for environmental monitoring. **Journal of Physics**, v. 1889, n. 3, p. 32039- 32058, 2021.

KUMAR, A. *et al.* A framework for assessing social acceptability of industry 4.0 technologies for the development of digital manufacturing. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 174, n.1, p. 324-343, 2022.

LASI, H. *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, n.1, p. 18-23, 2015.

LEE, J.; HAN, S.; YANG, J. Construction of a computer-simulated mixed reality environment for virtual factory layout planning. **Computers in Industry**, v. 62, n. 1, p.86-98, 2011.

MARAMALDO, D. **Análise de Valores**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Intercultural, 1983.

\_\_\_\_\_. **A Estratégia para a Competitividade**: administração para o sucesso. São Paulo: Produtivismo Artes Gráficas, 1989.

\_\_\_\_\_. **Teoria da Competitividade Total**: Conceituação e prática. 1º Edição. Campinas: Editora Alínea, 2000.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 7ª Edição. São Paulo: Atlas, 2010.

MATA, F. J.; FUERST, W. L.; BARNEY, J. B. Information technology and sustained competitive advantage: A resource-based analysis. **MIS Quarterly**, v.1, n.1, p. 487-505, 1995.

MATSUDA, M.; SUDO, Y.; KIMURA, F. A Multi-agent based construction of the digital eco-factory for a printed-circuit assembly line. **Procedia CIRP**, v. 41, n. 218, p. 202-223, 2016.

MEHRSAI, A.; KARIMI, H. R.; THOBEN, K. D. Integration of supply networks for customization with modularity in cloud and make-to-upgrade strategy. **Systems Science & Control Engineering**, v. 1, n. 1, p. 28-42, 2013.

MICHNIEWICZ, J.; REINHART, G. Cyber-physical robotics—automated analysis, programming and configuration of robot cells based on Cyber-Physical-Systems. **Procedia Technology**, v. 15, n. 3, p. 566-575, 2014.

MILES, L. D. The cost problem and the value engineering approach, **Value Engineering**, v.1, n.1, p.1-6, 1947.

\_\_\_\_\_. **Techniques of Value Analysis and Value Engineering**. New York: McGraw-Hill, 1961.

MILES, L. D. *et al.* **AV/EV: análise de valor-engenharia de valor**. Itaipava: Intercultural, 1984.

MINTZBERG, H. **Crafting strategy**. Boston: Harvard Business Press, 1987.

MIRSHAWKA, V. **Criando valor para o cliente a vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books, 1993.

MOEUF, A. *et al.* The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 3, p. 1118-1136, 2018.

MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. In: VARIETY MANAGEMENT IN MANUFACTURING, 2014, Budapest. **Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems**. Procedia CIRP, 2014. p. 9-13.

MUDGE, A. E. Numerical evaluation of functional relationships. **Value Engineering**, v.1, n.3, p.169-175, 1968.

\_\_\_\_\_. **Value engineering: a systematic approach**. New York: McGraw-Hill, 1971.

PEREIRA FILHO, R. **Análise do valor: processo de melhoria contínua**. São Paulo: Editora Nobel, 1994.

PIETREWICZ, L. Coordination in the age of Industry 4.0. **Economic and Social Development: Book of Proceedings**, v.4, n.3, p. 264-274, 2019.

PINTON, D. H. **Engenharia e Análise de Valores**: vetor de competitividade. São Paulo: Produtivismo Artes Gráficas, 1989.

PORTER, M. E. **Competitive Strategy**: Techniques for analyzing industries and competitors. 1ª Edition. New York: The Free Press, 1980.

\_\_\_\_\_. **Competitive Advantage**: Creating and sustaining superior performance. 1ª Edition. New York: The Free Press, 1985.

RAJKUMAR, R. *et al.* Cyber-physical systems: the next computing revolution. In: THE 47TH DESIGN AUTOMATION CONFERENCE, 2010, Anaheim. **Proceedings of the Design Automation Conference**. Anaheim: IEEE, 2010. p. 131-736.

RODRIGUES, L. F.; DE JESUS, R. A.; SCHÜTZER, K. Industrie 4.0: Uma revisão da literatura. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 19, n. 38, p.33-45, 2016.

SANTOS, R. C.; MARTINHO, J. L. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.32, n.8, p.263-281, 2020.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. New York: Currency, 2017.

SHAO, X. *et al.* Multistage implementation framework for smart supply chain management under industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 162, n. 53, p. 120-146, 2021.

SHARMA, A. K. *et al.* A study of trends and industrial prospects of Industry 4.0. *Materials today: Proceedings*, v.47, n.10, p.2364-2369, 2021.

SHINGO, S. **Non-stock production**: the Shingo system of continuous improvement. Portland: Productivity Press, 1988.

SICARI, S. *et al.* Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. **Computer networks**, v. 76, n.1, p.146-164, 2015.

SLACK, N. **The manufacturing advantage**: achieving competitive manufacturing operations. London: Mercury, 1991.

STALK, G. J. Time-The next source of competitive advantage. **Harvard Business Review**, v. 6, n. 10, 1989.

TELUKDARIE, A. *et al.* Industry 4.0 implementation for multinationals. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 316-329, 2018.

TUKKER, A. Eight types of product-service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. **Business strategy and the environment**, v. 13, n. 4, p.246-260, 2004.

TUCKER, R. B. **Agregando Valor ao seu Negócio**. São Paulo: Makron Books, 1999.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0—a glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, n.1, p. 233-238, 2018.

VENERI, G.; CAPASSO, A. **Hands-on Industrial Internet of Things: Create a Powerful Industrial IoT Infrastructure Using Industry 4.0**. Birmingham: Packt Publishing , 2018.

WANG, L.; TÖRNGREN, M.; ONORI, M. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 517-527, 2015.

WANG, S. *et al.* Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v.12, n. 1, 2016.

WU, Y.; LIM, J.; YANG, M. H. Object tracking benchmark. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 37, n. 9, p. 1834-1848, 2015.

WU, Z. *et al.* Tolerance design and adjustment of complex customized product based on cloud manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 27, n.1, p.169-175, 2015.

XU, X. *et al.* Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 61, p. 530-535, 2021.

YAO, A. W. L.; LIN, R. T. Development of A Cloud Based Remote Mobile Monitoring and Control System for Manufacturing. **Applied Mechanics and Materials**, v. 789, n.1, p.1082-1086, 2015.

YING, Kuo-Ching *et al.* Cyber-physical assembly system-based optimization for robotic assembly sequence planning. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 58, n.1, p. 452-466, 2021.

YOUNKER, D. **Value engineering: analysis and methodology**. New York: Marcel Dekker, 2003.

ZAWADZKI, P.; ŻYWICKI, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept. **Management and Production Engineering Review**, v. 7, n. 3, p. 105-112, 2016.