

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**VICTOR HENRIQUE MARTINS DE SOUZA**

**PROPOSIÇÃO DE MODELO DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO TECNOLÓGICO  
PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0: INVESTIR EM  
NOVOS EQUIPAMENTOS OU RETROFIT?**

São Paulo

2022

**VICTOR HENRIQUE MARTINS DE SOUZA**

**PROPOSIÇÃO DE MODELO DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO TECNOLÓGICO  
PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0: INVESTIR EM  
NOVOS EQUIPAMENTOS OU RETROFIT?**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro

São Paulo

2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Victor Henrique Martins de.

Proposição de modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos da indústria 4.0: investir em novos equipamentos ou retrofit? / Victor Henrique Martins de Souza. 2022. 117 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2022.

Orientador (a): Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro.

1. Indústria 4.0. 2. Retrofit. 3. Transformação digital.  
I. Sátyro, Walter Cardoso. II. Título

CDU 658.5



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela saúde, disposição e oportunidade que juntas, permitiram realizar essa sonhada etapa em minha carreira.

Agradeço a minha família e amigos pelo constante apoio e incentivo, principalmente nos momentos de dificuldade.

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro, pela sua cordialidade ímpar, assim como sua paciência, conhecimento, disposição, incentivo e total apoio, pessoal e profissional, para realização deste trabalho.

Agradeço, também, à Universidade Nove de Julho (UNINOVE) pela oportunidade de cursar este programa de mestrado e, aos docentes e funcionários pela colaboração e incentivo, durante toda essa trajetória.

## RESUMO

Investir em novos equipamentos é um dos principais desafios das empresas brasileiras que buscam a modernização de seu parque fabril para a implementação dos conceitos e tecnologias da indústria 4.0. As transformações e as oportunidades trazidas por esta revolução industrial são importantes e necessárias para as empresas que buscam melhorias em seus indicadores de produtividade, para estarem presentes no mercado, com destaque em tecnologia e inovação dos processos de manufatura. Com esse intuito, uma questão tange-se quanto à tomada de decisão sobre investir em novos equipamentos ou investir na reforma dos equipamentos existentes (*Retrofit*), com ênfase em modernização dos mesmos. O objetivo desta pesquisa foi propor um modelo de análise de investimento tecnológico que apoie a gestão dos processos de manufatura das indústrias brasileiras na decisão sobre quando adquirir novos equipamentos ou quando transformar equipamentos legados existentes em sistemas modernos para adoção dos conceitos e tecnologias da indústria 4.0. O modelo teórico proposto foi avaliado por especialistas, utilizando-se o método DELPHI, sendo então aperfeiçoado. Este trabalho visa a contribuir para o desenvolvimento da Gestão da Tecnologia e Inovação em Engenharia de Produção.

**Palavras-Chave:** Indústria 4.0. *Retrofit*. Transformação digital.

## **ABSTRACT**

Investing in new equipment is one of the main challenges for Brazilian companies seeking to modernize their industrial park for the implementation of the concepts and technologies of Industry 4.0. The transformations and opportunities brought by this industrial revolution are important and necessary for companies that seek improvements in their productivity indicators, to be present in the market, with an emphasis on technology and innovation in manufacturing processes. With this intention, a question arises regarding the decision to invest in new equipment or to invest in the reform of existing equipment (Retrofit), with emphasis on their modernization. The objective of this research was to propose a technological investment analysis model to support the management of manufacturing processes in Brazilian industries in the decision about when to acquire new equipment or when to transform existing legacy equipment into modern systems for the adoption of Industry 4.0 concepts and technologies. The theoretical model proposed was evaluated by experts using the DELPHI method, and then refined. This work aims to contribute to the development of Technology and Innovation Management in Production Engineering.

**Keywords:** Industry 4.0. Retrofit. Digital transformation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do trabalho.....	14
Figura 2 – Elementos formadores da Indústria 4.0.....	24
Figura 3 – BIM Baseado no BPM para Retrofit de construções existentes. ....	35
Figura 4 – Fases do processo de decisão no modelo estrutura AHP.....	36
Figura 5 – 1ª Etapa para identificar os objetivos operacionais. ....	41
Figura 6 – 2ª Etapa para Análise do(s) processo(s) existente(s). ....	43
Figura 7 – 3ª Etapa de definição de tecnologias e conceitos a serem implementados. .	48
Figura 8 – 4ª Etapa para análise de investimento tecnológico. ....	49
Figura 9 – 5ª Etapa - Conclusão da análise. ....	53
Figura 10 – Modelo completo proposto. ....	54
Figura 11 - Tipos de pesquisa científica. ....	56
Figura 12 – Pesquisa qualitativa e exploratória.....	59
Figura 13 – Modelo finalizado. ....	74
Figura 14 – 1ª Etapa para identificar os objetivos operacionais. ....	75
Figura 15 – 2ª Etapa para Análise do(s) processo(s) existente(s). ....	76
Figura 16 – 3ª Etapa do modelo finalizado.....	81
Figura 17 – 4ª Etapa do modelo finalizado.....	83
Figura 18 – 5ª Etapa do modelo finalizado.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios de pesquisa 1.....	61
Tabela 2 – Critérios de pesquisa 2.....	61
Tabela 3 – Critérios de pesquisa 3.....	62
Tabela 4 – Os objetivos da etapa estão claros X quantidade de entrevistados. ....	68
Tabela 5 – O descritivo da etapa apoia o entendimento da mesma X quantidade de entrevistados.....	69
Tabela 6 – Proposição de alterações nos objetivos das etapas do modelo.....	69
Tabela 7 – Proposição de alterações no conteúdo de apoio para a etapa do modelo...	70

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	11
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	11
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	11
1.3	JUSTIFICATIVA.....	12
1.4	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	13
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	16
2.2	IMPLEMENTAÇÃO INDÚSTRIA 4.0.....	18
2.2.1	<i>Desafios</i> .....	18
2.2.2	<i>Oportunidades</i> .....	21
2.2.3	<i>Tecnologias</i> .....	23
2.2.3.1	Elementos Base ou Fundamentais da Indústria 4.0.....	24
2.2.3.1.1	Internet das Coisas .....	25
2.2.3.1.2	Internet de Serviços .....	25
2.2.3.1.3	Sistemas Cyber Físicos.....	25
2.2.3.2	Elementos Estruturantes.....	26
2.2.3.2.1	Automação.....	26
2.2.3.2.2	Comunicação Máquina a Máquina.....	26
2.2.3.2.3	Inteligência Artificial .....	27
2.2.3.2.4	Análise de <i>Big Data</i> .....	27
2.2.3.2.5	Computação em nuvem .....	28
2.2.3.2.6	Integração de sistemas .....	28
2.2.3.2.7	Segurança Cibernética.....	28
2.2.3.3	Elementos Complementares.....	29

2.2.3.3.1	Etiquetas de RFID .....	29
2.2.3.3.2	Código QR .....	29
2.2.3.3.3	Realidade Aumentada.....	30
2.2.3.3.4	Realidade virtual .....	30
2.2.3.3.5	Manufatura aditiva.....	30
2.2.3.3.6	Block Chain .....	31
2.2.3.3.7	Drones.....	31
2.2.3.3.8	Veículos autônomos guiados .....	32
2.2.3.3.9	Aprendizado de Máquina .....	32
2.3	RETROFIT .....	32
2.3.1	<i>Retrofit na Indústria 4.0.....</i>	33
2.3.2	<i>Modelos Aplicados ao Retrofit .....</i>	34
2.3.3	<i>Modelos de Tomada de Decisão .....</i>	36
2.4	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA EMPRESA .....	38
2.4.1	<i>Integração Vertical.....</i>	38
2.4.2	<i>Integração Horizontal.....</i>	39
2.4.3	<i>Objetivos Operacionais da Manufatura e da Empresa .....</i>	39
2.5	MODELO TEÓRICO PROPOSTO .....	40
2.5.1	<i>Descrição do Modelo Teórico Proposto.....</i>	41
2.5.1.1	1ª Etapa do Modelo.....	41
2.5.1.2	2ª Etapa do Modelo.....	42
2.5.1.2.1	Alvo produtividade.....	43
2.5.1.2.2	Alvo novidade.....	44
2.5.1.2.3	Alvo qualidade no processo .....	44
2.5.1.2.4	Alvo flexibilidade .....	44
2.5.1.2.5	Alvo acessibilidade.....	45
2.5.1.2.6	Alvo velocidade .....	45
2.5.1.2.7	Alvo desejabilidade .....	46
2.5.1.2.8	Alvo confiabilidade .....	46

2.5.1.2.9	Alvo sustentabilidade socioambiental .....	47
2.5.1.3	3ª Etapa do Modelo.....	47
2.5.1.4	4ª Etapa do Modelo.....	49
2.5.1.5	5ª Etapa do Modelo.....	52
2.5.1.6	Modelo Completo .....	53
3	METODOLOGIA .....	55
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA .....	55
3.1.1	<i>Pesquisa do Ponto de Vista de sua Natureza.....</i>	56
3.1.2	<i>Pesquisa do Ponto de Vista dos Objetivos .....</i>	57
3.1.3	<i>Pesquisa do Ponto de Vista dos Procedimentos .....</i>	57
3.2	MÉTODO APLICADO .....	58
3.3	METODOLOGIA PARA REVISÃO DA LITERATURA .....	60
3.4	INSTRUMENTO DE PESQUISA.....	63
3.4.1	<i>Coleta de Dados na Pesquisa .....</i>	63
3.4.2	<i>Pré-Teste dos Instrumentos de Pesquisa.....</i>	63
3.4.3	<i>Definição da Amostra de Especialista .....</i>	64
4	RESULTADOS .....	67
4.1	APLICAÇÃO DO MÉTODO DELPHI – 1ª RODADA .....	67
4.1.1	<i>Primeira Etapa da Entrevista .....</i>	67
4.1.2	<i>Segunda Etapa da Entrevista .....</i>	67
4.1.3	<i>Discussões da 1ª Rodada do DELPHI.....</i>	70
4.1.4	<i>Alterações Realizadas .....</i>	72
4.1.4.1	Atualizações primeira etapa .....	72
4.1.4.2	Atualizações segunda etapa .....	72
4.1.4.3	Atualizações terceira etapa.....	73
4.1.4.4	Atualizações quarta etapa.....	73
4.1.4.5	Atualizações quinta etapa .....	73
4.2	MODELO FINALIZADO .....	74
4.2.1	<i>1ª Etapa do Modelo Finalizado .....</i>	75
4.2.2	<i>2ª Etapa do Modelo Finalizado .....</i>	76

4.2.2.1	Alvo produtividade.....	77
4.2.2.2	Alvo novidade.....	77
4.2.2.3	Alvo qualidade no processo .....	77
4.2.2.4	Alvo flexibilidade .....	78
4.2.2.5	Alvo acessibilidade.....	78
4.2.2.6	Alvo velocidade .....	79
4.2.2.7	Alvo desejabilidade .....	79
4.2.2.8	Alvo confiabilidade .....	80
4.2.2.9	Alvo sustentabilidade socioambiental .....	80
4.2.3	<i>3ª Etapa do Modelo Finalizado .....</i>	<i>81</i>
4.2.4	<i>4ª Etapa do Modelo Finalizado .....</i>	<i>82</i>
4.2.5	<i>5ª Etapa do Modelo Finalizado .....</i>	<i>86</i>
4.3	DISCUSSÕES .....	88
5	CONCLUSÃO .....	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE I – E-MAIL CONVITE PARA PARTICIPAR DA PESQUISA.....	102
	APÊNDICE II – 1ª FASE DELPHI – AVALIAÇÃO DO MODELO PROPOSTO .....	103

## 1 INTRODUÇÃO

Revoluções industriais são paradigmas de produção que trazem significativas modificações aos processos industriais. Teve-se a primeira revolução industrial, ou indústria 1.0, que se caracterizou pela adoção de máquinas a vapor e do tear mecanizado; a indústria 2.0 veio com a descoberta e aplicação da eletricidade aos processos produtivos; a indústria 3.0 deu-se com a adoção da automação aos processos; até, finalmente, a 4ª revolução industrial ou indústria 4.0 na qual a inteligência artificial e conectividade foram incorporadas aos processos e aos equipamentos da indústria (BENJAMIN *et al.*, 2021).

A 4ª revolução industrial trouxe grandes oportunidades para a indústria, com maior foco na aplicação de conceitos de digitalização, integração de sistemas cyber físicos, robotização, inteligência artificial, análise e armazenamento de dados em massa, entre outros. A evolução das redes de comunicação industrial permitiu a integração de sistemas que, em conjunto com algoritmos de inteligência artificial e com as possibilidades de armazenamento de dados em massa, trouxe velocidade e confiabilidade na aquisição de dados do processo produtivo (YUAN *et al.*, 2021).

A evolução das tecnologias de digitalização de dados permite que a gestão dos processos receba, com maior velocidade, informações dos processos e, com maior confiabilidade, permite uma reação mais rápida e assertiva nas correções de falhas. A integração entre sistemas em conjunto com algoritmos automatizados e o armazenamento de dados em massa, permite aos processos de produção e manutenção, análises preditivas do comportamento de máquinas e processos que, conseqüentemente permitem uma previsão de falhas e reduzem imprevistos operacionais e financeiros (KOUSAY *et al.*, 2021).

Prognostica-se uma diminuição nas falhas não previstas em equipamentos que possuem os conceitos da indústria 4.0 implementados, reduzindo assim perdas diretas no processo produtivo e redução de custos que, conseqüentemente apoiam o aumento na produtividade da empresa e competitividade da mesma (CONTADOR *et al.*, 2020).

Um dos objetivos mapeados da indústria 4.0 é permitir à gestão, das empresas e processos, um aumento no controle da empresa e em medições de desempenho dos

processos que, com análises e tomadas de decisões baseadas nestas medições e controles, ocasione aumento na competitividade (CONTADOR *et al.*, 2020).

A modernização dos processos com os conceitos da indústria 4.0, tende a aumentar a competitividade das empresas abrindo muitas possibilidades para o desenvolvimento do negócio. No entanto, de forma similar às oportunidades, a integração aos conceitos da indústria 4.0 traz riscos e desafios para as indústrias brasileiras (CONTADOR *et al.*, 2020; YUAN *et al.*, 2021).

Os desafios para implementação da indústria 4.0 envolvem aspectos tecnológicos e organizacionais (BIRKEL *et al.*, 2019; HORVÁTH *et al.*, 2019). No âmbito organizacional é necessária uma mudança cultural, um desenvolvimento de competências antes não conhecidas e o entendimento de que algumas competências, antes essenciais, podem se tornar obsoletas (HORVÁTH *et al.*, 2019).

Inerente aos desafios das mudanças comportamentais necessárias, está a velocidade esperada para que essas mudanças ocorram. Como a modernização está disponível para o mercado, existe o risco do surgimento de novos concorrentes entrarem no mercado com propostas de modelos de negócios inovadores e com a modernização já implementada – o que pode tornar os processos de empresas que não se modernizarem, rapidamente obsoletos, com redução significativa na receita das mesmas (BIRKEL *et al.*, 2019).

O desenvolvimento pessoal e a busca por profissionais capacitados, com as evoluções tecnológicas e culturais, fazem-se necessários para atender mudanças que ocorrem em diversas áreas da empresa. Algumas tarefas mudam, desenvolvem-se e, em alguns casos, tornam-se obsoletas com a modernização dos processos existentes (CONTADOR *et al.*, 2020).

No âmbito tecnológico, a modernização de fábricas para se adequarem aos conceitos da indústria 4.0 pode exigir altos investimentos. Investimentos em equipamentos, infraestrutura, segurança de informações e desenvolvimento pessoal desde o nível gerencial / executivo da empresa até as áreas operacionais (CONTADOR *et al.*, 2020; SIEMENS FINANCIAL SERVICES, 2018).

Para a evolução dos processos e máquinas atuais a empresa pode optar pela aquisição de equipamentos modernos que já possuem conceitos da indústria 4.0

implementados. No entanto, há um grande desafio relacionado a custos de aquisição e tempo de aquisição de novos equipamentos, considerando que os processos e equipamentos existentes atendem à demanda atual da empresa e, em muitos casos são equipamentos estáveis e relativamente novos que, agora por não estarem adequados a conceitos da indústria 4.0 não permitem a evolução da empresa neste sentido (KAMBLE *et al.*, 2018).

O desafio da aquisição de novos equipamentos envolve dentre outros: o custo da aquisição, o tempo para aquisição, adequação do novo equipamento ao processo existente, validações do novo equipamento com clientes, treinamento operacional, entre outros, sendo tópicos que aumentam os riscos e custos da decisão de adquirir novos equipamentos (CONTADOR *et al.*, 2020; HORVÁTH *et al.*, 2019).

Questões fundamentais surgem sobre o que fazer com os equipamentos e as estruturas existentes nas empresas, caso haja o investimento em novos processos. No entanto, mesmo com os riscos e as barreiras na aquisição de novos equipamentos e processos, o objetivo principal de integração de conceitos da indústria 4.0 ainda se faz necessário e, nesse sentido, a reforma ou *retrofit* dos equipamentos existentes com a premissa de modernizá-los com conceitos da indústria 4.0 se mostra como uma opção a ser considerada para a modernização dos equipamentos e processos.

Estudos apresentados na revisão da bibliografia, apontam diversos conceitos, tecnologias de hardware e tecnologias de software que, podem ser integrados aos equipamentos existentes com o objetivo de modernizá-los com conceitos da indústria 4.0. Tais estudos apresentam, como integrar sistemas relativamente novos e/ou legados aos conceitos da indústria 4.0, porém com a necessidade de investimentos em reestruturação total, parcial, ou com investimentos em novos equipamentos e processos da empresa em análise.

Um número relativamente baixo de estudos aponta critérios que orientem a gestão sobre quando decidir pelo investimento em um novo equipamento ou processo, já com características que permitam tais conectividades ou, quando investir na reforma dos equipamentos e processos existentes.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Os investimentos em novas tecnologias e equipamentos podem se tornar uma barreira para a evolução das empresas rumo à implementação dos conceitos da indústria 4.0 e, mesmo o *retrofit* sendo uma oportunidade, a gestão precisa decidir sobre qual opção deve ser considerada: Investir em um novo equipamento e processo ou na reforma dos equipamentos e processos existentes.

Os estudos encontrados nas pesquisas realizadas, apresentam um foco técnico sobre como aplicar o *retrofit* na implementação dos conceitos da indústria 4.0, mostrando uma escassez de uma fase anterior à implementação que seria, uma análise de investimento para a decisão sobre modernizar os equipamentos e processos existentes ou quando optar pelo desenvolvimento de um novo equipamento e processo já com conceitos da indústria 4.0 implementados.

No afã de realizar o *retrofit* em equipamentos legados no contexto de Internet das Coisas, Kolla *et al.* (2022) apresenta uma proposta de implementação de Sistemas Cyber Físicos em uma máquina ferramenta, instalando sensores na camada física do equipamento e instalando interfaces de rede na camada de digitalização de dados do equipamento, possibilitando assim aquisição e análise de dados do equipamento. No entanto, o trabalho implementado no âmbito da ciência da computação apresenta a reforma do equipamento com objetivo de integrar conceitos da indústria 4.0 e não sobre a decisão que levou ao caminho de reformar o sistema existente ao invés de adquirir um novo equipamento.

Lins *et al.* (2020) apresenta um trabalho no qual realiza a implementação de um sistema cyber físico com o objetivo de modernizar um protótipo de braço robótico com conceitos da indústria 4.0. A implementação apresenta conceitos de integração de sistemas cyber físicos, interfaces entre o equipamento e os sistemas cyber físicos, integração do equipamento com outros sistemas, conceitos de digitalização e redes industriais que permitem a modernização do equipamento. No entanto, o projeto apresenta foco na implementação e não na decisão sobre a realização do *retrofit* ou aquisição de novo equipamento.

A literatura científica pesquisada, apresenta foco na abordagem técnica da aplicação de tecnologias na busca por conceitos da indústria 4.0, com o *retrofit* sendo aplicada a protótipos, máquinas, componentes e, se estende a aplicativos, processos maiores e de maior complexidade. No entanto, não foram encontrados estudos ou modelos que apoiem a análise de investimento para a tomada de decisão sobre a adoção do *retrofit* ou a aquisição de um novo equipamento ou processo, na busca por inserir conceitos da indústria 4.0. Um exemplo adicional pode ser verificado no estudo sobre a modernização de um protótipo de uma planta industrial didática, na qual o foco foi a integração do equipamento com sistemas em nuvem, integração de sensores, redes de comunicação e digitalização de processos (LINS *et al.*, 2018).

Visando preencher a lacuna de pesquisa identificada, este trabalho se propõe a responder a seguinte questão de pesquisa: **Como poderia ser um modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos da indústria 4.0 para auxiliar na tomada de decisão sobre aquisição de novo equipamento ou *Retrofit*?**

## 1.2 OBJETIVOS

Para responder à questão de pesquisa, os seguintes objetivos serão considerados:

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos da indústria 4.0 para auxiliar na tomada de decisão sobre aquisição de novos equipamentos ou realização de *retrofit* nos equipamentos e processos existentes.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, são traçados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar modelos, através da revisão da literatura, que suportam a tomada de decisão sobre aquisição de novos equipamentos e processos ou a implementação do *retrofit*, para investimentos tecnológicos.
- Através da revisão da literatura, identificar fatores que devem ser considerados e podem ponderar na decisão sobre investir em novos equipamentos e processos ou realizar *retrofit* dos equipamentos e processos existentes.
- Propor um modelo teórico que suporte a tomada de decisão sobre aquisição de novos equipamentos e processos ou a realização de *retrofit* nos equipamentos existentes, rumo à implementação de conceitos da indústria 4.0.
- Apresentação do modelo proposto a especialistas, aplicando o método DELPHI em suas principais características.
- Apresentar o modelo final aperfeiçoado.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

São consideráveis as barreiras na implementação dos conceitos da indústria 4.0 aos sistemas de produção existentes. A aquisição de novos processos, com os conceitos já implementados, apresenta riscos e desafios que aumentam os obstáculos na modernização do processo produtivo (ZÊDO *et al.*, 2022). Custo de modernização é uma das principais barreiras na implementação (CONTADOR *et al.*, 2020).

Com o ambiente empresarial altamente competitivo, a adoção de soluções tecnológicas é um caminho cada vez mais necessário para as organizações. A indústria 4.0 surge com frentes tecnológicas que impulsionam a organização nessa atualizada exigência por processos ágeis, de respostas rápidas e assertivas que, permitem à gestão velocidade na adequação dos processos produtivos às novas necessidades (ZÊDO *et al.*, 2022).

De forma similar às barreiras estão as oportunidades propostas pela modernização dos processos com conceitos da indústria 4.0. Aumento de produtividade, redução de custos, aumento de qualidade são frentes que vão ao encontro da modernização baseada em conceitos da indústria 4.0 (CONTADOR *et al.*, 2020).

Na ânsia de implementação da indústria 4.0 os gestores se deparam com a decisão entre modernizar o parque fabril ou adquirir novos equipamentos e processos. A decisão implica em investimentos em um ambiente de risco, dada a carência de exemplos que se tem da implementação total da indústria 4.0 (GEISSBAUER *et al.*, 2016).

Em função desta necessidade, se torna relevante o estudo sobre um modelo de investimento tecnológico que apoie a gestão na tomada de decisão sobre quando decidir por novos processos e equipamentos ou, quando decidir pelo *retrofit* dos equipamentos e processos existentes para a implementação dos conceitos da indústria 4.0.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O modelo proposto foi desenvolvido visando as indústrias de autopeças brasileiras no estado de São Paulo, com processos de produção automáticos e/ou semiautomáticos e, que objetivam investir em conceitos da indústria 4.0.

Este estudo visa o apoio para a tomada de decisão, não sendo modelo prescritivo quanto à sua adoção ou não. Igualmente não são considerados fatores econômicos nem são feitas ou sugeridas análises de engenharia econômica.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos, o presente trabalho se apresenta em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, é apresentada a introdução do trabalho, abordando o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a delimitação do trabalho.

No segundo capítulo, apresenta-se o referencial teórico com o objetivo de estabelecer fundamentos teóricos e, levantar lacunas de pesquisa na literatura existente. Conceitos e teorias sobre implementação de processos na indústria 4.0 e *retrofit* são abordados neste capítulo. Em seguida, ainda no capítulo dois, é apresentada uma proposta de modelo que apoia a gestão na análise de investimento tecnológico sobre prosseguir com *retrofit* ou investir em novos equipamentos e processos.

No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia de pesquisa. Apresentam-se conceitos da metodologia aplicada, o método aplicado e o instrumento de pesquisa utilizado.

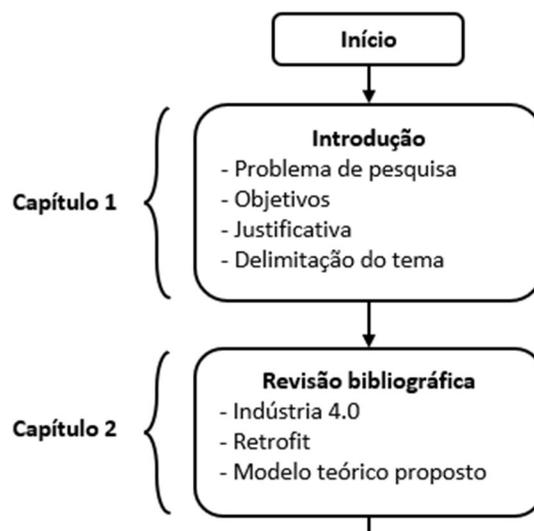
No quarto capítulo, são apresentados os resultados da avaliação do modelo proposto junto aos especialistas assim como uma discussão sobre os resultados obtidos.

No quinto capítulo, é apresentada a conclusão sobre a pesquisa realizada.

Após o capítulo cinco, são apresentadas as referências utilizadas para o projeto de pesquisa e, os apêndices, que são documentos criados e utilizados como suporte na realização da pesquisa e aplicação do método de pesquisa.

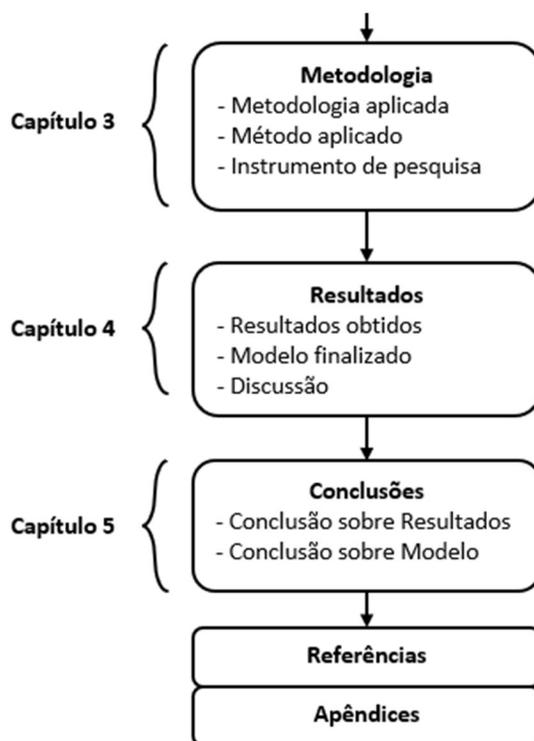
Na figura 1, apresenta-se de forma resumida e, em formato de fluxograma, a estrutura na qual o trabalho foi dividido.

Figura 1 – Estrutura do trabalho.



Fonte: Própria.

Figura 1 – Estrutura do trabalho (Continuação).



Fonte: Própria.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é feita a revisão da literatura, com os artigos relevantes ao tema proposto. Sendo apresentados tópicos sobre: indústria 4.0, oportunidade e desafios da implementação dos conceitos da indústria 4.0, tecnologias aplicadas na indústria 4.0, *retrofit* na indústria 4.0, modelos aplicados ao *retrofit*, modelos de tomada de decisão, desenvolvimento sustentável na empresa, integração vertical, integração horizontal e, por fim, objetivos operacionais da manufatura e da empresa. Todo o conteúdo é apresentado na busca de apoiar o tema da pesquisa, assim como seus objetivos.

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

A manufatura da indústria moderna passa pela chamada 4ª revolução industrial. As revoluções anteriores tiveram como características principais a utilização de energia a vapor nos processos industriais, seguidos pelo uso da energia elétrica e, posteriormente pelas transformações da tecnologia da informação. Tais revoluções, trouxeram avanços significativos aos setores de manufatura das indústrias. No entanto, nos últimos anos, a evolução e a introdução de sistemas cyber físicos (CPS - *Cyber Physical Systems*), os avanços em conectividade aplicados com o conceito de Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), tecnologias de realidade aumentada, digitalização, entre outras, deram início à 4ª e nova revolução industrial, nomeada como Indústria 4.0 em 2011, em uma tradicional feira de tecnologia industrial realizada em Hannover na Alemanha (WANKHEDE *et al.*, 2021).

A combinação de tecnologias que estão em constante desenvolvimento, suportadas por conceitos de Internet das Coisas, Computação em nuvem (*Cloud computing*), grande volume e análise de dados (*Big Data*) e, Inteligência Artificial (AI – *Artificial Intelligence*), permitem a criação dos sistemas cyber físicos, que por sua vez possibilitam a conexão entre equipamentos e os diversos sistemas da manufatura da empresa (BENJAMIN *et al.*, 2021).

A evolução dos sistemas cyber físicos permitiu a coleta e digitalização dos mais variados tipos de informações dos equipamentos e, em velocidade relativamente alta.

Com esta evolução, a quantidade de dados gerados pelos sistemas cresceu exponencialmente, exigindo assim a evolução na área de conhecimento que estuda como armazenar, filtrar, analisar e obter informações a partir deste conjunto de dados coletados, área essa, também conhecida como *Big Data* (D'EMILIA *et al.*, 2021).

Com a disponibilidade dos dados praticamente *online*, a gestão dos processos pode extrair os mais variados indicadores de desempenho (KPI's - *Key Performance Indicators*) do processo produtivo. Indicadores básicos importantes como: eficiência global dos equipamentos (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*), produtividade homem / hora, tempo médio para reparos (MTTR - *Mean Time to Repair*), tempo de inatividade, entre outros, são atualizados, digitalizados e mostrados praticamente em tempo real em painéis (*Dashboards*), auxiliando a gestão em rápidas respostas e decisões sobre o processo produtivo (KOUSAY *et al.*, 2021).

Além dos indicadores básicos de produção, com os dados obtidos, pode-se aplicar outros conceitos que, do mesmo modo evoluem exponencialmente na indústria 4.0, como: inteligência artificial e aprendizado de máquina (ML - *Machine Learning*), que aplicados aos dados obtidos dos sistemas cyber físicos, possibilitam a extração de informações e permitem uma análise preditiva avançada dos equipamentos (YUAN *et al.*, 2021).

Os dados recebidos possibilitam prever, de maneira confiável, possíveis problemas nos equipamentos, permitindo que a gestão de produção e setores como manutenção, estejam preparados para eventuais paradas, reduzindo assim o tempo de manutenção e, conseqüentemente aumentando a disponibilidade dos equipamentos para o processo produtivo. Com os indicadores básicos e outros indicadores importantes disponíveis, a gestão dos sistemas de produção pode planejar alterações, evoluções, paradas de maneira antecipada, tornando o sistema produtivo cada vez mais eficiente (YUAN *et al.*, 2021).

Em dados específicos da indústria brasileira, Fernandes *et al.* (2020) e Zeba *et al.* (2021) indicam que, além dos investimentos com recursos próprios, as indústrias buscam agências públicas que financiam projetos de inovação e desenvolvimento. Baseados em pesquisas realizadas e com dados destes órgãos públicos no ano de 2020, foram solicitados investimentos na ordem de 1,7 trilhões de reais em projetos com conceitos da

indústria 4.0, divididos em agronegócio, cidades inteligentes, indústria e saúde. Deste montante, em torno de 37% foram para projetos de pesquisa e desenvolvimento para a indústria 4.0, considerando desde micro a grandes empresas. Os dados apresentam de maneira quantitativa a significância do tema e como as empresas têm investido no tema (FERNANDES *et al.*, 2020; ZEBA *et al.*, 2021).

Mesmo que os conceitos da indústria 4.0 já estejam sendo amplamente discutidos e aplicados nas indústrias de manufatura, a implementação ainda apresenta muitos desafios e paradigmas a serem quebrados; entretanto, as oportunidades desta nova revolução também mostram resultados positivos, principalmente nos âmbitos de eficiência e qualidade.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO INDÚSTRIA 4.0

São muitos os desafios que as indústrias enfrentam na implementação dos conceitos da indústria 4.0. Os desafios vão desde o âmbito tecnológico até desafios e questionamentos éticos, trazendo assim a necessidade de transformações em diversas áreas da indústria em desenvolvimento. No entanto, em proporções similares aos desafios, estão as oportunidades e os benefícios trazidos pelos conceitos da indústria 4.0. São expressivos os ganhos previstos e conquistados, que trazem oportunidades de desenvolvimento tecnológico, social, financeiro, em conceitos de sustentabilidade e, conseqüentemente trazem novas oportunidades para a evolução e para a transformação do negócio.

### 2.2.1 Desafios

O processo de implementação de conceitos da indústria 4.0 é complexo e a transformação pode influenciar na indústria como um todo. Estudos apontam que os desafios organizacionais são os de maior importância, seguidos pelos desafios tecnológicos, estratégicos, financeiros, segurança, jurídicos e inclusive questões éticas (LUTHRA *et al.*, 2018). Dentro desses desafios, as indústrias enfrentam algumas principais barreiras como: altos custos na implementação dos conceitos da indústria 4.0,

falta de conhecimento em sistemas de tecnologia de informação e segurança cibernética, questões de privacidade e segurança de dados, falta de qualificação da força de trabalho, entre outros (CONTADOR *et al.*, 2020; KAMBLE *et al.*, 2018).

Um dos desafios das empresas está relacionado à segurança de informações e operacionalidade. Com o avanço e implementação dos sistemas cyber físicos, a conectividade dos equipamentos se tornou possível e, junto da automação, que utiliza algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina, os equipamentos também ficaram mais suscetíveis a ataques cibernéticos com os mais variados objetivos. Em 2017, motivada por um ataque cibernético ao sistema de produção, uma multinacional fabricante de veículos automotores, teve um dia de paralização de todo o sistema de produção em suas fábricas pelo mundo, gerando custos de milhões de euros para o grupo (BECUE *et al.*, 2021).

As indústrias com conceitos de 4.0 aplicados são amplamente conectadas; conceitos de aprendizado de máquina, robótica autônoma, robótica colaborativa e inteligência artificial são alguns dos conceitos que estão frequentemente se adaptando e criando modelos de decisão que visam a otimizar o sistema de produção. No entanto, da mesma forma que os ganhos trazidos por essas tecnologias são expressivos, existe também o aumento exponencial dos riscos de ataques e da criticidade caso algum ataque aconteça, exigindo assim que as empresas foquem também nos riscos que essa transformação traz para a segurança dos negócios (BECUE *et al.*, 2021).

Em proporções similares às dos desafios, estão as habilidades técnicas das pessoas para a implementação dos conceitos da indústria 4.0 na manufatura. Os esforços dos profissionais de recursos humanos na busca de profissionais para áreas relacionadas à indústria 4.0 são cada vez maiores. O motivo deste esforço é que os profissionais solicitados devem possuir habilidades multidisciplinares para trabalhar em cargos que exigem desde conhecimentos técnicos em áreas de estatísticas e análise de dados até redes neurais com inteligência artificial, passando por habilidades comportamentais, pró atividade, criatividade, adaptabilidade e iniciativa (KIPPER *et al.*, 2021). Os desafios são tão significativos que existem estudos científicos e propostas de *frameworks* baseados em inteligência artificial com o objetivo de apoiar os recursos humanos na busca por esses profissionais (ADA *et al.*, 2021).

Profissionais com habilidades específicas e multidisciplinares, somados aos investimentos em tecnologias modernas para implementação dos conceitos da indústria 4.0 também trazem desafios financeiros a serem enfrentados pelos investidores. A indústria investe milhões em tecnologia, aquisição e retenção de talentos e segurança de informação, assumindo altos riscos e desafiadores índices de retorno do investimento. Essa mudança de paradigma e os altos investimentos são também, algumas das barreiras enfrentadas pela indústria rumo aos conceitos da indústria 4.0 (CONTADOR *et al.*, 2020).

Ainda com os riscos e altos investimentos, vem a necessidade de uma rápida adaptação dos processos trazendo desafios operacionais que envolvem as principais áreas do negócio (BECUE *et al.*, 2021). Alguns conceitos que evoluíram com a indústria 4.0 podem apoiar estes desafios, reduzindo riscos e prevendo de maneira eficiente resultados futuros. A utilização de metodologias para tomada de decisão baseada em dados (*Data-Driven Decision*), aplicada aos dados do negócio adquirido com conceitos e *Big Data*, baseados em estatísticas, aprendizado de máquina e inteligência artificial, podem trazer oportunidades que apoiem decisões estratégicas (HYERS, 2020).

Assim como a geração e análise de dados podem mitigar riscos e apoiar as decisões estratégicas que envolvem altos investimentos, conceitos que evoluíram sobre digitalização também podem contribuir com a redução destes riscos em investimentos de equipamentos e processos. A digitalização e integração de sistemas trouxe uma evolução na prototipagem e simulação de processos com os gêmeos digitais (*Digital Twin*) (SEMERARO *et al.*, 2021).

Com a possibilidade de simular parte dos processos com protótipos digitais, os processos e máquinas, os gêmeos digitais permitem previsões técnicas de equipamentos reduzindo assim riscos e tempo de implementação em fases críticas de projeto. Somados aos simuladores digitais de equipamentos e processo, a evolução da prototipagem com impressoras 3D também permite a geração de protótipos com qualidades suficientes para tomadas de decisão com maior confiabilidade (SEMERARO *et al.*, 2021).

O conceito dos gêmeos digitais aplicado em tecnologias de realidade aumentada e virtual, permite evoluções desde áreas da engenharia de produção e máquinas, como no marketing, uma vez que torna possível apresentar de forma digital um produto ou

processo que ainda esteja em fase de desenvolvimento. A área de manufatura é apenas uma das frentes nas quais a fábrica virtual baseada no gêmeo digital poderá contribuir positivamente, uma vez que as simulações podem também permitir análises sobre viabilidade de logística, ergonomia e segurança entre outras, com as simulações possíveis (YILDIZ *et al.*, 2021; AZARIAN *et al.*, 2021).

Em uma análise feita pela manufatura alemã, uma das pioneiras na implementação dos conceitos da indústria 4.0, descobriu-se que nos próximos dez anos haverá um crescimento de aproximadamente 6% nos empregos relacionados à tecnologia. Neste, relativamente curto, prazo de tempo, tarefas repetitivas e passíveis de automação serão substituídas, criando assim uma demanda maior por profissionais com habilidades específicas principalmente em tecnologia. Essa transformação traz uma questão social importante para o país. Uma vez que, se não for adequadamente planejada, poderá interferir de maneira direta nos índices de desemprego. A busca por profissionais qualificados se torna difícil para as empresas ao mesmo tempo que a qualificação profissional se torna difícil para quem busca o emprego (KHAN *et al.*, 2021).

Pesquisas em empresas de países da América Latina, mostram um crescimento relativamente lento nos investimentos em tecnologias da indústria 4.0. Algumas empresas investem em inovações tecnológicas apenas suportadas por projetos governamentais. Desta forma, os investimentos financeiros mostram-se como sendo uma das principais barreiras para o crescimento dos negócios rumo aos conceitos da indústria 4.0 (MENDOZA *et al.*, 2020).

### 2.2.2 Oportunidades

Em proporções similares aos desafios na implementação dos conceitos da indústria 4.0, estão também as oportunidades. É esperado pela indústria, assim como pelos seus respectivos gerentes e executivos que, com as tecnologias disponíveis, tenha-se mais controle e que seja possível realizar medições de performance do processo existente em tempo real (HORVÁTH *et al.*, 2019). Conseqüentemente, existe um esforço das empresas em busca de aumento na qualidade dos produtos produzidos e conceitos utilizados, assim como uma redução nos índices de defeitos na manufatura existente,

uma vez que, os dados adquiridos em tempo real e os conceitos de análise de dados podem contribuir, positivamente, com estes índices (GRUZAUSKAS *et al.*, 2018). Os riscos existentes com falha de equipamento são reduzidos; os monitoramentos proporcionados pelas tecnologias disponíveis tornam possível a otimização dos processos, aumentando a produtividade e, conseqüentemente, reduzindo perdas e custos nos processos existentes que vão sendo transformados (LONG *et al.*, 2017).

A demanda dos clientes e consumidores também passa por uma transformação, aumentando consumos, exigindo maior flexibilidade, agilidade e qualidade dos sistemas produtivos e de entrega. No entanto, as tecnologias estão disponíveis para suportar estas necessidades vindas com a transformação da indústria 4.0, permitindo a produção customizada para clientes, independente de quantidade, do produto ou serviço solicitado e da localização, permitindo também a flexibilidade em se produzir com características customizadas em tempos antes impraticáveis (SCHEUERMANN *et al.*, 2015).

Os conceitos vindos com a indústria 4.0, também proporcionam ao negócio um ambiente favorável para aplicação de conceitos como JIT (*Just In Time*), JIS (*Just in Sequence*) e *KanBan*, traduzindo-se em conceitos de produção ágil, customizada, enxuta e de melhoria contínua para as cadeias de suprimento, otimizando entregas, processos de rastreio, fluxos de materiais entre outros (EVTODIEVA *et al.*, 2019).

Conceitos de aprendizado de máquina integrados com análise de dados e Inteligência artificial foram aplicados com o objetivo de identificar, de maneira preventiva, erros operacionais que podem causar problemas de qualidade no produto ou processo produtivo como também, analisar comportamentos que podem prejudicar operadores que estejam atuando no processo, tornando assim o processo e a realização do mesmo, ainda mais seguros. Da mesma forma esse aprendizado de máquina e inteligência artificial, aplicados em áreas de recursos humanos, podem ser utilizados para o recrutamento de pessoas analisando movimentos do corpo de quem está sendo recrutado. (VARELA *et al.*, 2021).

Sistemas de gerenciamento de produção flexíveis permitem menores desafios à implementação dos conceitos da indústria 4.0, reduzindo tempo de implementação e permitindo à empresa usufruir das oportunidades trazidas por essa transformação (VARELA *et al.*, 2021).

Segundo pesquisa realizada com líderes de empresas, principalmente de autopeças, metal mecânica e metalúrgica, as cinco oportunidades mais relevantes para uma empresa flexível são: aperfeiçoar o controle e planejamento de produção, aumentar a competitividade global da empresa, tornar-se ou ser reconhecida como uma empresa moderna, aperfeiçoar a qualidade das linhas de produção, tornar-se ou ser reconhecida como uma empresa que oferece produtos com performance superior (CONTADOR *et al.*, 2020).

### 2.2.3 Tecnologias

Os conceitos da indústria 4.0 não necessariamente são aplicados apenas na indústria. Conceitos e tecnologias que se desenvolveram e apoiaram a indústria 4.0 também podem ser aplicados em setores da agricultura, comércio e residencial. São diversas as tecnologias que suportam os conceitos da indústria 4.0. Sacomano *et al.* (2018) apresenta uma classificação dessas tecnologias e as nomeia como elementos que são formadores da indústria 4.0.

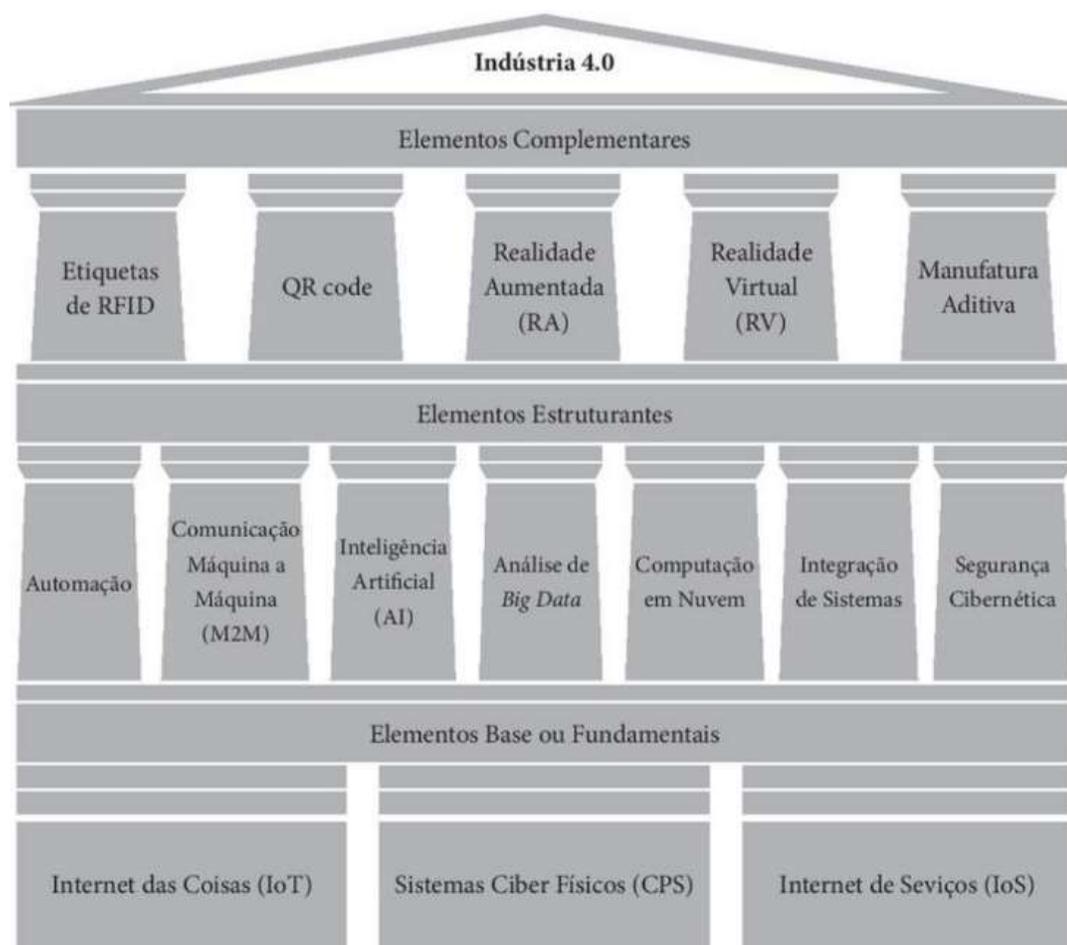
Sacomano *et al.* (2018) realiza uma classificação inicial dividindo em três elementos formadores da indústria 4.0 que são:

- Elementos base ou fundamentais que representam a base tecnológica para os conceitos da indústria 4.0, ou seja, elementos que estão presentes em todas as aplicações e projetos da indústria 4.0 por serem classificados como fundamentais.
- Elementos estruturantes que representam as tecnologias e/ou conceitos que permitem a construção das aplicações da indústria 4.0.
- Elementos complementares que ampliam as possibilidades da indústria 4.0, porém não necessariamente tornam a aplicação que utilizam, desses elementos, uma aplicação com conceitos da indústria 4.0.

Com a constante evolução natural das tecnologias existentes, surgem frequentemente novas tecnologias que suportam os conceitos da indústria 4.0. Assim, novas classificações para as tecnologias existentes, novas tecnologias e tecnologias adjacentes estão sempre evoluindo e apoiando os conceitos da indústria 4.0.

Sacomano *et al.* (2018) apresenta para cada um desses elementos formadores da indústria 4.0, conceitos e tecnologias que sustentam esses elementos formadores, conforme pode ser verificado na figura 2.

Figura 2 – Elementos formadores da Indústria 4.0.



Fonte: SACOMANO *et al.* 2018.

### 2.2.3.1 Elementos Base ou Fundamentais da Indústria 4.0

Conforme Sacomano *et al.* (2018) apresenta, os elementos base ou fundamentais são: Internet das Coisas, Internet de Serviços e Sistemas Ciber Físicos.

#### 2.2.3.1.1 Internet das Coisas

Internet das Coisas ou, do inglês, *Internet of Things* (IoT), são sistemas, componentes, objetos ou coisas que utilizam a internet como um meio de comunicação.

Um sensor que possui a tecnologia e capacidade para transmitir dados via internet, quando aplicado, pode ser considerado uma aplicação de internet das coisas. Esses sensores podem variar sua aplicação desde objetos domésticos, sensores inteligentes distribuídos na agricultura até a ferramentas industriais de alta tecnologia (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021).

#### 2.2.3.1.2 Internet de Serviços

Internet de Serviços ou, do inglês, *Internet of Service* (IoS), são serviços disponibilizados de forma digital, online por meio da internet ou uma rede restrita de um negócio, ou seja, uma intranet.

Criação de ordens de produção, agendamento de serviços de manutenção, compra via internet são atividades permitidas pelos conceitos de internet de serviços (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021).

#### 2.2.3.1.3 Sistemas Cyber Físicos

Sistemas Cyber Físicos ou, do inglês, *Cyber Physical Systems* (CPS), são sistemas mecatrônicos, formados por sensores e atuadores com software integrado que permitem acesso remoto através de outro sistema para troca de informações e execução de comandos de forma remota; permitem, também, aquisição e envio de dados em tempo real, podendo se integrar entre si ou com outros sistemas (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021).

### 2.2.3.2 Elementos Estruturantes

Conforme Sacomano *et al.* (2018) apresenta, os elementos estruturantes são: Automação, Comunicação Máquina a Máquina, Inteligência Artificial, Análise de *Big Data*, Computação em Nuvem, Integração de Sistemas e Segurança Cibernética.

#### 2.2.3.2.1 Automação

A automação é definida como sistemas que funcionam por si só, sem a intervenção humana, que realizam tarefas e monitoram sistemas e a si mesmos, de acordo com regras previamente estabelecidas, inseridas no sistema (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021; KIPPER *et al.*, 2021).

Processos podem ser automatizados ou semiautomatizados, nos quais existe também a intervenção humana. Sistemas robotizados ou robôs têm uma participação importante na automação - por si só são sistemas automatizados previamente programados para realização de tarefas em sistemas automatizados (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021; KIPPER *et al.*, 2021).

Adjacente aos sistemas robotizados convencionais, estão os chamados robôs colaborativos ou, *cobots*, que possuem características específicas de segurança que lhes permitem trabalhar como auxiliar do trabalhador. Muitas vezes os sistemas robotizados poupam os trabalhadores de ambientes agressivos, insalubres que são necessários à produção mas, que em muitos casos, exigem esforços repetitivos ou de sobrecarga que impactam diretamente na saúde do operador (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021; KIPPER *et al.*, 2021).

#### 2.2.3.2.2 Comunicação Máquina a Máquina

Comunicação Máquina a Máquina, ou *Machine to Machine* (M2M – *Machine to Machine*), é um conceito de comunicação entre máquinas ou entre máquina e um sistema de controle central que permite que os equipamentos ou processos troquem dados entre

si, permitindo tomadas de decisão descentralizadas (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021; KIPPER *et al.*, 2021).

A evolução dos sistemas cyber físicos permitiu a aquisição, transmissão e troca de dados que podem ser compartilhados entre equipamentos num mesmo processo em grandes velocidades e em tempo real. A troca de informações entre máquinas permite uma melhor eficiência na realização de uma ordem de produção, assim como a troca de informações entre máquina e um sistema central permite uma chamada rápida de manutenção com objetivo de reduzir tempo de produção parada (SACOMANO *et al.*, 2018; BENJAMIN *et al.*, 2021; KIPPER *et al.*, 2021).

#### 2.2.3.2.3 Inteligência Artificial

Inteligência Artificial ou, *Artificial Intelligence* (AI – *Artificial Intelligence*), é o que permite aos dispositivos, equipamentos e/ou sistemas processarem informações de forma similar ao cérebro humano, buscando resolver desafios da forma mais eficiente possível. Torna-se importante acrescentar que o comando de decisão ainda está sob controle do ser humano, cabendo à Inteligência Artificial apenas executar de acordo com os dados que foram inseridos ao sistema (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.2.4 Análise de *Big Data*

Análise de *Big Data* ou, *Big Data Analytics*, é a grande quantidade de informações disponíveis e armazenadas de um ou mais sistemas. Com a evolução e possibilidade de aquisição de dados através dos sistemas cyber físicos, o volume de dados adquiridos dos processos cresceu exponencialmente e o armazenamento deles precisou evoluir de forma similar para permitir o armazenamento dos dados. No entanto, o armazenamento é apenas parte do conceito de análise de *big data*, pois é necessário analisar os dados e extrair conteúdos específicos desses dados. Algoritmos de análise de dados, estatísticas, processamento e predição de dados acompanham esse conceito, dando suporte na

extração de informações úteis e confiáveis (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.2.5 Computação em nuvem

Computação em nuvem ou, *Cloud Computing*, é o conceito no qual se tem servidores instalados em diferentes lugares da aplicação que os utiliza, podendo inclusive estarem em países diferentes. A computação em nuvem permite o acesso a informações, dados, através da internet, independentemente da localização, permitindo uma integração entre sistemas a nível global (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.2.6 Integração de sistemas

Na indústria 4.0, a conectividade entre equipamentos e sistemas é um dos principais desafios. Integração de sistemas de diferentes fabricantes, diferentes conceitos e, em muitas vezes, diferentes épocas de fabricação são essenciais para a integração e automação de diferentes áreas da empresa e aplicação dos conceitos da indústria 4.0 (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.2.7 Segurança Cibernética

Segurança Cibernética ou, *Cyber Security*, é um conceito que envolve recursos humanos, tecnologias e processos em ações contra a ataques cibernéticos (STRUPCZEWSKI, 2021).

Com a conectividade proposta na indústria 4.0, o tráfego de dados, muitas vezes confidenciais ou de grande valor para as empresas, fica exposto nas transmissões de internet e intranet; assim, faz-se necessário buscar formas de garantir a segurança das informações transmitidas (STRUPCZEWSKI, 2021).

O vazamento de dados confidenciais ou a invasão de conteúdos maliciosos que podem manipular a veracidade dos dados existentes e até corrompê-los, pode comprometer todo um projeto de indústria 4.0 (SACOMANO *et al.*, 2018).

### 2.2.3.3 Elementos Complementares

Conforme Sacomano *et al.* (2018) apresenta, os elementos complementares ou também chamados de acessórios são: Etiquetas RFID, QR Code, Realidade Aumentada, Realidade Virtual e Manufatura Aditiva. Complementam os outros elementos, estruturantes e fundamentais e, se estendem a outros, conforme modernização das tecnologias existentes ou inovação tecnológica (SACOMANO *et al.*, 2018).

Ribeiro *et al.*, (2020) propõe outros elementos complementares adjacentes como: Blockchain, Drones, Veículos Autônomos Guiados e Aprendizado de Máquina.

#### 2.2.3.3.1 Etiquetas de RFID

Etiquetas RFID ou, do inglês *Radio Frequency Identification Tag*, são dispositivos capazes de se comunicar via rádio frequência, ou seja, permitem uma comunicação entre dispositivos sem o contato físico e em velocidades de transmissão relativamente altas (SACOMANO *et al.*, 2018).

Existem modelos que podem apenas responder ou enviar sinais de rádio frequência e modelos que possuem memória interna capazes de armazenar dados (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.3.2 Código QR

Código QR ou, do inglês *Quick Response Code* (QR Code), similar aos códigos de barra, também chamado de código de uma dimensão. No entanto, os códigos QR são de duas dimensões e permitem maior facilidade de leitura e maior densidade, ou seja, mais informações em menor área de código (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.3.3 Realidade Aumentada

Realidade Aumentada ou, do inglês *Augmented Reality* (AR), é uma tecnologia que permite associar ou sobrepor elementos virtuais em uma visualização em tempo real, permitindo uma interação em três dimensões que combina o mundo real com o mundo virtual (SACOMANO *et al.*, 2018).

Através de dispositivos como celular ou tablet, é possível visualizar no ambiente real componentes virtuais que permitem a interação com eles. A tecnologia de realidade aumentada permite criar no ambiente real, sinalizações com informações, links para manuais, imagens e vídeos explicativos (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.3.4 Realidade virtual

Realidade Virtual ou, do inglês *Virtual Reality* (VR), é uma combinação de hardware e software que cria um ambiente totalmente virtual, permitindo interação, de forma simulada, com ele (SACOMANO *et al.*, 2018).

Com o uso de acessórios como óculos, dotados de sensores que captam o movimento humano, simuladores de sensações como vento, temperatura, som, entre outros, o operador pode interagir com o mundo virtual ou a digitalização do mundo real. É possível simular ambientes reais compostos de itens que até o momento só existem no mundo virtual. Realidade Virtual é uma tecnologia que apoia na realização de treinamentos e simulações de forma virtual com o acréscimo da possibilidade de interação, permitindo a quem utiliza uma experiência realista sem a necessidade do ambiente real (SACOMANO *et al.*, 2018; RIBEIRO *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.3.5 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva ou, do inglês *Additive Manufacturing* (AM), se caracteriza como o processo de manufatura em que se acrescenta material, camada por camada, diferente da manufatura chamada tradicional ou subtrativa (ILG *et al.*, 2019).

Com a evolução da microeletrônica, ciência dos materiais entre outras tecnologias e conceitos, tornou-se possível imprimir objetos em 3D a partir de uma representação digital do mesmo. Acrescentando tecnologias de comunicação sem fio, é possível imprimir objetos a partir de uma representação digital, um exemplo real em outra localização, podendo inclusive ser em outro país (VOLPATO *et al.*, 2017; IQBAL *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.3.6 Block Chain

Com a implementação dos conceitos de indústria 4.0, foram criadas fábricas e processos inteligentes, interconectados e, conseqüentemente possibilitando um compartilhamento de informações de toda a cadeia de valor em tempo real. A conexão de sistemas separados e a confiabilidade dos dados gerados nessa integração são fundamentais para o sucesso na implementação de projetos de integração de sistemas. O conceito de cadeia de blocos ou, do inglês *Block Chain*, é a tecnologia que suporta, nessa confiança de integração, os sistemas e dados obtidos dos mesmos (VERNA, *et al.*, 2022; SHARMA, *et al.*, 2022).

O conceito de *Block Chain* se apoia não só na integração do chão de fábrica, entre máquinas e equipamentos, mas também, em uma forma mais abrangente como diferentes setores, clientes, produtos, serviços e demais atividades, gerando transparência, confiança e rastreabilidade, na cadeia de produção (SHARMA, *et al.*, 2022).

#### 2.2.3.3.7 Drones

A tecnologia de drones ou, aeronaves não tripuladas, é reconhecida nos conceitos da indústria 4.0 como a tecnologia para futuros sistemas de transporte. No entanto, a evolução de tecnologias como microeletrônica, softwares para visão computacional e velocidade de conexões via internet sem fio, têm permitido às empresas realizarem inspeções aéreas de regiões remotas e de áreas relativamente grandes (CHUN, 2021).

#### 2.2.3.3.8 Veículos autônomos guiados

Aprendizado de máquina ou, do inglês *Automated Guided Vehicle* (AGV), é um sistema robótico guiado, que pode seguir uma marcação pré-definida ou através de sinais de rádio ou internet sem fio (FAROOQ *et al.*, 2022).

A evolução da microeletrônica assim como tecnologias de software, permitiram aos veículos autônomos guiados, apoiarem a logística interna das empresas no transporte de materiais e na otimização de rotas internas (YUE *et al.* 2022).

#### 2.2.3.3.9 Aprendizado de Máquina

Aprendizado de Máquina ou, do inglês *Machine Learning* (ML), é um conceito que envolve engenharia da computação, inteligência artificial e métodos matemáticos computacionais para reconhecimento de padrões em dados existentes (SACHDEVA *et al.*, 2022).

O Aprendizado de Máquina permite através do reconhecimento de padrões em dados adquiridos de sistema, prever situações ou condições futuras de um equipamento ou sistema. Torna-se possível prever de forma confiável possíveis paradas para manutenção, desgastes do equipamento ou também por falta de matéria-prima. Com essa previsão, pode-se planejar a manutenção preventiva reduzindo riscos e paradas não planejadas e planejar sistemas de logísticas de matéria-prima para a produção (NAJAFABADI *et al.*, 2015; MILIC *et al.* 2022).

### 2.3 RETROFIT

*Retrofit* é um termo utilizado para a técnica de reforma, modernização ou revitalização de algum equipamento ou sistema, sem descaracterizar seus elementos e objetivos originais. A atividade de *retrofitting* se torna fundamental em áreas nas quais o processo de atualização do equipamento ou sistema existente, é relativamente caro em termos financeiros ou, quando o tempo de um novo equipamento ou adaptação é extenso e, também, quando não se deseja alterar a funcionalidade existente já robusta e

consolidada, e sim, apenas, acrescentar novos recursos ou funcionalidades (BURRESI *et al.*, 2020).

### 2.3.1 Retrofit na Indústria 4.0

Embora equipamentos relativamente novos venham equipados com sistemas cyber físicos já incorporados ou prontos para os conceitos de internet das coisas, existem muitas empresas que contam com “sistemas legados” de longa data que oferecem nenhuma, ou muito limitada, conectividade. Neste contexto, as soluções buscadas resultam no desenvolvimento do *retrofit* dos equipamentos rumo à modernização com conceitos da indústria 4.0 (ZAMBETTI *et al.*, 2020).

Conforme identificado anteriormente, a indústria 4.0 ganha cada vez mais relevância nos setores de manufatura. No entanto, fatores econômicos são uma das principais barreiras para as empresas nessa revolução. Desta forma, uma das alternativas encontradas pelas empresas na busca de reduzir riscos nos investimentos tem sido o *retrofit* como uma das alternativas para integração da indústria 4.0 (GARCIA *et al.*, 2020).

A Alemanha, pioneira nas tecnologias e evolução dos conceitos da indústria 4.0, criou uma plataforma chamada *Plattform Industry 4.0*, formada por grupos de empresas, pesquisadores e governos, divididos em frentes de padronização e normalização, pesquisas e inovação, legalidade, trabalho e educação entre outras. Desta plataforma surgiu a *Asset Administration Shell (AAS)*, como sendo um padrão para conectividade entre o mundo real e virtual. Com essa padronização pode-se evoluir para uma norma com o objetivo de orientar na criação do gêmeo digital na indústria 4.0, apoiando o desenvolvimento das empresas que buscam a transformação rumo aos conceitos da indústria 4.0 (PLATTFORM-I40, 2021).

Impulsionados pela necessidade de rápida modernização nos processos produtivos com os conceitos da indústria 4.0, os sistemas de produção, principalmente em pequenas e médias empresas (*Small and Medium sized Enterprises – SME*) nas quais os custos de implementação são relativamente mais significativos, implementam apenas algumas das funcionalidades possíveis nos equipamentos e processos, buscando, no

mercado de soluções, plataformas prontas de *retrofit* com conceitos *Plug and Play* (Conecte e Use), normalmente permitindo agregar sensores que enviam dados a uma plataforma de armazenamento em nuvem e possuem aplicações que monitoram, analisam e apresentam dados preditivos do processo monitorado. Por serem soluções mais rápidas, e de menor custo, acabam sendo atrativas; no entanto, são limitadas nos recursos e flexibilidade dos resultados obtidos (PANDA *et al.*, 2020).

### 2.3.2 Modelos Aplicados ao *Retrofit*

Como identificadas nas definições de *retrofit*, existem barreiras na implementação dos conceitos inerentes a este processo. Assim, a classificação destas barreiras é uma forma de dividi-las com o objetivo de focar nos requisitos que mais estão relacionados aos objetivos do projeto. Nesta subdivisão, algumas das principais barreiras são: financeiras, organizacionais e técnicas. Como forma de apoiar os profissionais da construção civil a superar essas barreiras do *retrofit*, é aplicado o modelo BIM (*Building Information Modeling* – Modelagem da Informação da Construção). Por ser um processo abrangente, para criação e gerenciamento de informação, permite aos profissionais construir, planejar e gerenciar projetos de *retrofit* na construção civil. Como forma de representar o processo de *retrofit* com conceitos BIM, é desenvolvido um fluxo de trabalho baseado no BPM (*Business Process Management* – Gerenciamento de Processos de Negócios (D'ANGELO *et al.*, 2022), conforme se pode ver na figura 3, abaixo.

Figura 3 – BIM Baseado no BPM para *Retrofit* de construções existentes.



Fonte: D'ÁNGELO *et al.* 2022.

Pode-se avaliar no modelo proposto na figura 4, que nas fases iniciais, existe a fase de identificação dos objetivos principais do *retrofit* que, devem estar alinhados com os resultados esperados após implementação do mesmo. Assim, uma fase inicial de coleta de dados do processo existente, seguida pelo objetivo do projeto de *retrofit*, se torna a base para um fluxo de trabalho e decisões para o decorrer do processo. A análise inicial permite percorrer de forma sistemática um fluxo de trabalho na implementação do *retrofit* (WANG *et al.*, 2022). A imagem a seguir, apresenta como a análise inicial, é a base para o fluxo de trabalho do projeto que está sendo implementado.

Torna-se importante acrescentar que o modelo proposto na figura 4 apresenta um exemplo de projeto implementando conceitos de *retrofit*; no entanto, não apresenta uma etapa entendida como anterior à realização do projeto, ou seja, como se daria uma análise de investimento que motivasse a decisão por realização do *retrofit* ou desenvolvimento de um novo processo, equipamento ou, no caso, uma construção.

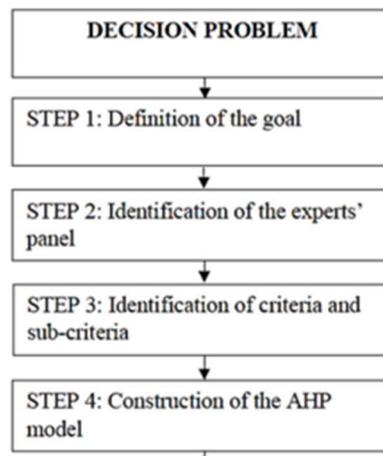
### 2.3.3 Modelos de Tomada de Decisão

Para se definir um modelo de tomada de decisão, torna-se necessário definir qual a base de critérios que será utilizada. Critérios quantitativos ou qualitativos propõem conceitos distintos para tomada da decisão. Independente dos critérios aplicados, faz-se necessário estarem alinhados aos objetivos do projeto (ONGPENG *et al.*, 2022).

Para um modelo com critérios quantitativos, a definição dos critérios assim como respectivos pesos ou, também chamados propriedades, torna-se importante para a posterior avaliação. Um fluxo de tomada de decisão baseado em multicritérios e os relativos pesos, pode ser desenhado de forma metodológica e objetiva (ONGPENG *et al.*, 2022). Uma proposta de tomada de decisão multicritérios, baseada em dados, ou seja, de forma quantitativa pode ser exemplificada com um modelo de processo de análise hierárquica ou AHP (*Analytic Hierarchy Process*) conforme figuras 5 e 6 que, se apresenta como um modelo de apoio para tomada de decisão objetiva, mas ainda assim sem critérios subjetivos (ANDREOLLI *et al.*, 2022).

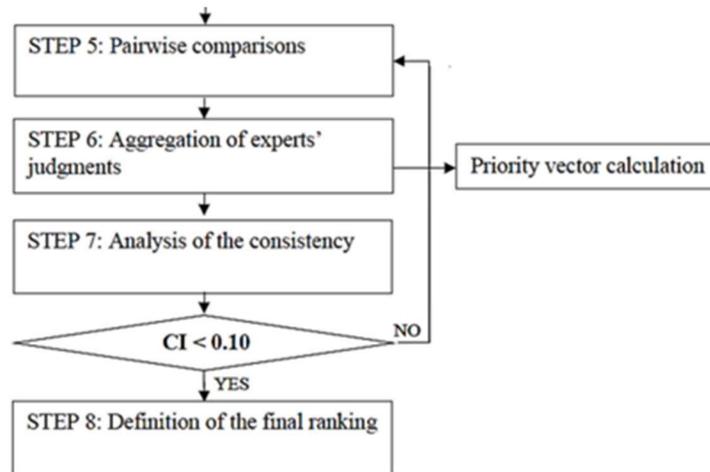
Conforme se pode verificar na figura 4, existe uma fase inicial do processo para definição de objetivos e identificação de critérios. Após o passo sete, existe uma análise quantitativa, baseada em critérios e pesos pré-definidos nas etapas anteriores, sendo uma proposta para decisão sem critérios subjetivos.

Figura 4 – Fases do processo de decisão no modelo estrutura AHP.



Fonte: ANDREOLLI *et al.*, 2022.

Figura 4 – Fases do processo de decisão no modelo estrutura AHP (Continuação).



Fonte: ANDREOLLI *et al.*, 2022.

O modelo AHP permite uma avaliação multicritérios quantitativa sem limites de nível de detalhe, podendo ser aplicado para um processo macro ou aplicado múltiplas vezes em um mesmo processo, dividindo o mesmo em subprocessos (ANDREOLLI *et al.*, 2022). No entanto, o modelo AHP não possibilita um apoio na tomada de decisão para critérios subjetivos ou critérios qualitativos.

Expandindo as buscas nas bases de pesquisas para áreas de engenharia civil, foi possível encontrar alguns modelos de *retrofit* que apoiam a gestão sobre a decisão por realização de *retrofit* em construções com objetivos relacionados à eficiência energética. No entanto, para os trabalhos analisados, foram encontrados modelos que suportam na realização do *retrofit*, não na fase anterior de tomada de decisão sobre realizar o *retrofit* ou aquisição de novo processo ou equipamento.

Em buscas às bases de dados nas áreas de gerenciamento de projetos, identificamos modelos que apoiam a gestão na tomada de decisões, não especificamente sobre *retrofit*, mas tomadas de decisão de forma mais generalizada. No entanto, os modelos de tomada de decisão analisados, possuem conceitualmente uma abordagem quantitativa, sendo assim necessário definir critérios e prioridades nos critérios definidos.

Com a busca por modelos ou conteúdos que apoiem decisões relacionadas a investimento ou desenvolvimento de processos, com critérios subjetivos e/ou qualitativos,

surge a necessidade de desenvolver conceitos de desenvolvimento sustentável, integração e definição de objetivos operacionais da empresa.

## 2.4 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA EMPRESA

Empresas que desejam desenvolver os negócios de forma sustentável, devem investir em estratégias que permitem o alcance dos seus respectivos objetivos. Seja um investimento em novos processos ou modernização de processos existentes, faz-se necessário um planejamento estratégico para este desenvolvimento (KAGERMANN *et al.* 2013).

Nesse processo de desenvolvimento da empresa existem riscos inerentes às mudanças e, por esse motivo, torna-se importante um planejamento estratégico que direcione o desenvolvimento da empresa e permita, à mesma, mapear os riscos envolvidos no processo (KAGERMANN *et al.* 2016).

No planejamento estratégico da empresa, podem ser avaliados conceitos de integração horizontal e integração vertical que são estratégias que apoiam o planejamento estratégico (KAGERMANN *et al.* 2016; SANDERS *et al.* 2016).

### 2.4.1 Integração Vertical

Integração vertical é uma estratégia que se identifica quando a empresa agrega na mesma cadeia de valor, processos antes realizados por fornecimento externo (KAGERMANN *et al.* 2016).

Nessa estratégia de integração, o processo assume o controle de fatores como: matéria-prima, produção, distribuição ou fornecimento para a mesma cadeia de produção. Integração vertical está relacionada a índices de custos de produção, maior eficiência em entregas, prazos, maior domínio sobre produtos, processo e maior relacionamento entre fornecedores (KAGERMANN *et al.* 2016; SANDERS *et al.* 2016).

#### 2.4.2 Integração Horizontal

A integração horizontal é uma estratégia que se define como sendo uma expansão, através da aquisição ou união com uma ou mais empresas do mesmo setor de atuação (KAGERMANN *et al.* 2016).

Com essa estratégia, a organização busca aumentar o domínio sobre o mercado de determinado produto ou serviço, aumentar a capacidade produtiva, aumentar a variedade de produtos e serviços (KAGERMANN *et al.* 2016; SANDERS *et al.* 2016).

#### 2.4.3 Objetivos Operacionais da Manufatura e da Empresa

Alinhados com a estratégia da empresa, estão os objetivos operacionais da empresa e da manufatura, que se caracterizam como sendo os objetivos que permitem à empresa alcançar o sucesso dos negócios. Através de uma estratégia competitiva que Porter (1989) apresenta como sendo elementos que diferenciam a empresa no mercado no qual ela atua. A empresa busca se diferenciar em relação ao concorrente para o determinado mercado atuante.

Assim, torna-se importante que a empresa canalize esforços focando nos alvos que permitam, à mesma, estabelecer diferenças nessa competição, em relação aos concorrentes do mercado atuante. Contador (2008) apresenta nove alvos dessa competição sendo: produtividade, novidade, qualidade no processo, flexibilidade, acessibilidade, velocidade, desejabilidade, confiabilidade e sustentabilidade socioambiental.

O alvo definido é o elemento para o qual a empresa deve canalizar os esforços na busca dos objetivos previamente definidos. Contador (2008) acrescenta que, em determinadas situações, pode ser conveniente definir um alvo coadjuvante que apoie o alvo principal de forma a melhor objetivá-lo.

## 2.5 MODELO TEÓRICO PROPOSTO

Como uma proposta para apoiar a gestão na tomada de decisão sobre realizar o *retrofit* ou adquirir novos equipamentos e processos, já com conceitos da indústria 4.0, foi elaborado um modelo em formato de fluxograma que, através de etapas a serem seguidas poderá suportar tanto questões que dependem dos objetivos operacionais da manufatura quanto os da empresa, norteados a decisão do conceito a ser seguido e implementado.

O modelo proposto tem como objetivo principal apoiar a gestão na decisão sobre investir em novos equipamentos e processos com conceitos da indústria 4.0 implementados ou, realizar o *retrofit* nos equipamentos e processos existentes. O modelo proposto não é prescritivo quanto à adoção de novos equipamentos e processos ou sobre realização de *retrofit* na busca por implementação de conceitos da indústria 4.0. Assim, o modelo limita-se a apoiar a gestão na decisão sobre investimento tecnológico e não a decidir sobre o mesmo.

Torna-se relevante acrescentar que o modelo proposto pode ser aplicado tanto para um único equipamento ou processo quanto para linhas de produção ou grupo de equipamentos e processos, sendo esses similares entre si ou não.

Entende-se que a decisão sobre novos equipamentos e processos, ou a realização de *retrofit*, envolve questões subjetivas e, a decisão não depende apenas de disponibilidade técnica ou financeira, sendo necessária uma análise socioeconômica baseada nos objetivos operacionais da manufatura e da empresa, na visão do futuro da empresa, assim como do momento socioeconômico no qual o país ou o produto da empresa está passando.

No decorrer do trabalho, será apresentada cada etapa do modelo e, posteriormente o modelo completo. Serão apresentados maiores detalhes de cada uma das etapas nas quais o mesmo foi subdividido. O modelo possui etapas nas quais a gestão estratégica e operacional da empresa atua com mais conteúdo pois, são reflexões e definições que precisam ser feitas baseadas na estratégia da gestão. No entanto, em algumas etapas do modelo, algumas questões podem ser direcionadas a aspectos tecnológicos da indústria 4.0 e, um apoio de times especializados em determinadas áreas

contribuirá expressivamente para o sucesso da tomada de decisão sobre aquisição de novo equipamento ou realização de *retrofit*. Ainda que em alguns tópicos a análise de especialistas contribua para uma maior qualidade na análise feita, a participação da gestão tendo como base a estratégia operacional é necessária em todas as fases do processo pois, é entendido que é a gestão que detém o conhecimento da trajetória prevista pela empresa para o futuro.

O modelo proposto é dividido em 5 etapas que, de forma linear, permitem à gestão abordar pontos considerados importantes de serem avaliados como base para uma posterior tomada de decisão sobre a implementação dos conceitos da indústria 4.0 através de aquisição de novos equipamentos e processos ou, através da realização de *retrofit* nos equipamentos e processos existentes.

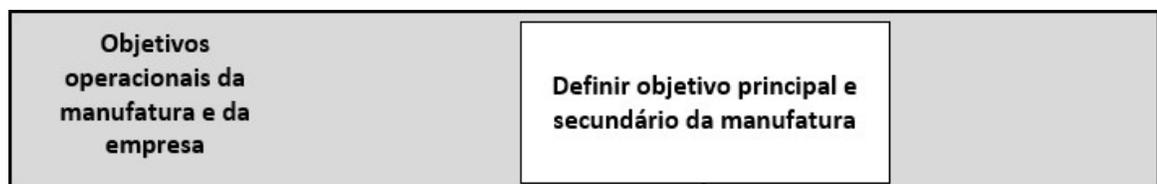
### 2.5.1 Descrição do Modelo Teórico Proposto

Nos seguintes capítulos serão apresentadas as etapas do modelo e o respectivo conteúdo que visa apoiar cada etapa. Seguido pelo modelo final completo.

#### 2.5.1.1 1ª Etapa do Modelo

Na primeira etapa do modelo proposto deve-se definir os objetivos operacionais da manufatura e da empresa, que serão base para as posteriores análises, a serem realizadas nas próximas etapas do modelo proposto. A figura 5 apresenta a 1ª etapa do modelo.

Figura 5 – 1ª Etapa para identificar os objetivos operacionais.



Fonte: Própria.

A proposta é que essa etapa seja avaliada e definida em conjunto com a gestão da empresa. É necessário definir dois objetivos operacionais da manufatura e da empresa, sendo um como principal e outro como secundário. É importante que haja consenso na proposta dos envolvidos, pois o sucesso na aplicação do modelo está diretamente relacionado a objetivos bem definidos e realistas, que serão base para as próximas etapas do modelo proposto.

Os objetivos operacionais da manufatura e da empresa servem como base para a posterior definição dos alvos nos quais a empresa irá focar na busca por alcançar os objetivos definidos. Contador (2008) apresenta nove alvos, nos quais a empresa pode canalizar os esforços, que são: produtividade, novidade, qualidade no processo, flexibilidade, acessibilidade, velocidade, desejabilidade, confiabilidade e sustentabilidade socioambiental.

O alvo definido é o elemento para o qual a empresa deve canalizar os esforços na busca dos objetivos previamente definidos. Contador (2008) acrescenta que, em determinadas situações, pode ser conveniente definir um alvo coadjuvante que apoie o alvo principal de forma a melhor objetivá-lo.

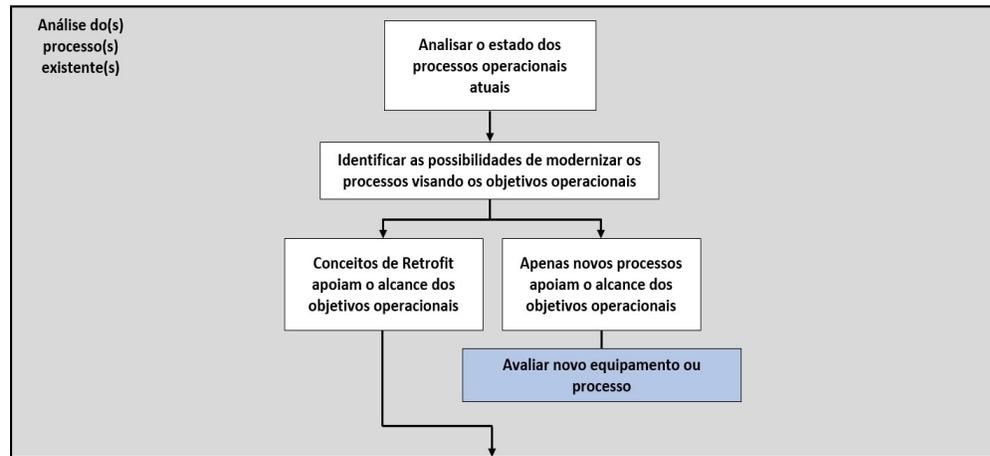
Com os objetivos estratégicos e alvos definidos está criada a base para as próximas fases do modelo proposto.

#### 2.5.1.2 2ª Etapa do Modelo

A segunda etapa do modelo propõe uma avaliação dos equipamentos e processos existentes assim como novos equipamentos e processos, para que se possa identificar se conceitos da Indústria 4.0, podem ser aplicados para alcançar os objetivos operacionais da empresa e da manufatura, abordados na etapa inicial do modelo.

Caso seja definido que os equipamentos ou processos existentes não permitem a implementação de conceitos da indústria 4.0 através de realização de *retrofit*, o modelo propõe a avaliação direta da aquisição de novos equipamentos ou processos. A figura 6 apresenta a 2ª etapa do modelo.

Figura 6 – 2ª Etapa para Análise do(s) processo(s) existente(s).



Fonte: Própria.

Cada um dos objetivos operacionais definidos na etapa inicial impacta na decisão sobre o caminho de aquisição de novo equipamento ou o caminho de realizar o *retrofit* no equipamento existente.

Torna-se importante avaliar a etapa com base nos alvos da competição previamente definidos. Nos seguintes tópicos são apresentadas informações adicionais sobre os nove alvos da competição.

#### 2.5.1.2.1 Alvo produtividade

Por definição, Contador (2008) apresenta que produtividade ou, a capacidade de produzir, é a medida entre os resultados produzidos relacionados aos recursos produtivos a ela aplicados. São apresentados, ao menos, quatro níveis de produtividade sendo: produtividade da atividade, produtividade de uma área da empresa, produtividade da empresa como um todo e produtividade da nação.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja produtividade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode apoiar na produtividade definida como alvo da competição.

#### 2.5.1.2.2 Alvo novidade

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja novidade, a empresa deve avaliar o que a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode trazer de novidade aos negócios. A inovação, ou seja, a condição daquilo que se apresenta pela primeira vez, pode ser um diferencial para a empresa em relação aos concorrentes.

Contador (2008) acrescenta que a inovação precisa criar valor ao produto. Entendendo-se por valor, ampliar o interesse do cliente pelo produto ou reduzir custos relacionados à produção do mesmo, visando maior rentabilidade ou redução nos preços do produto produzido.

#### 2.5.1.2.3 Alvo qualidade no processo

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja qualidade no processo, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode aumentar a qualidade nos processos da empresa.

Está inerente em programas de qualidade de processos, tanto processos produtivos quanto processos administrativos, a busca constante por melhoria dos mesmos. No entanto, melhoria na qualidade do processo não necessariamente dará vantagem competitiva à empresa (CONTADOR 2008).

#### 2.5.1.2.4 Alvo flexibilidade

Slack (2005) define diferentes tipos de flexibilidade no sistema de manufatura. Inicialmente divide flexibilidade em duas áreas: flexibilidade no fornecimento e flexibilidade no sistema produtivo. Para a flexibilidade no fornecimento, apresenta-se a flexibilidade no processo, flexibilidade operacional, flexibilidade no sistema de fornecimento e flexibilidade no sistema de controle. Para a flexibilidade no sistema

produtivo, apresenta-se a flexibilidade no produto, a flexibilidade em fazer combinações entre produtos, flexibilidade em volume de produção e flexibilidade na entrega.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja flexibilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior flexibilidade à empresa, buscando conseqüentemente definir que tipo de flexibilidade está buscando para o negócio.

#### 2.5.1.2.5 Alvo acessibilidade

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja acessibilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior acessibilidade à empresa, aos produtos ou serviços da mesma, buscando se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

Siegert *et al.* (2020) apresenta que acessibilidade, tanto no âmbito de produto quanto no processo produtivo, é impulsionada por conceitos da indústria 4.0 e sistemas cyber físicos. A inserção de acessibilidade no planejamento estratégico da empresa, além de buscar conformidade com regulamentações vigentes, apoia a empresa, diferenciando a mesma em relação aos concorrentes.

#### 2.5.1.2.6 Alvo velocidade

Contador (2008) apresenta o alvo em velocidade de produção relacionando velocidade na entrega de produto e serviço, velocidade no atendimento, velocidade na adaptação do processo produtivo ou no produto. Acrescenta que, a empresa que não possui, por exemplo, velocidade suficiente de produção, poderá precisar de maiores estoques visando atender a demanda de produtos e serviços para seus clientes, conseqüentemente aumentando os custos de armazenamento dos seus produtos.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja velocidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior velocidade à empresa, aos produtos, serviços e processo produtivo da mesma, buscando se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

#### 2.5.1.2.7 Alvo desejabilidade

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja desejabilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior desejabilidade à empresa, aos produtos e serviços da mesma, buscando se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

A construção de uma marca, produto ou serviço desejável ao cliente é construída através de pesquisa sobre necessidades, preferências, expectativas, divulgação, definição do público no qual busca despertar a desejabilidade. Assim, a empresa que tem como alvo desejabilidade deve avaliar a aplicação dos conceitos da indústria 4.0, tanto para *retrofit* quanto para novos equipamentos e processos.

#### 2.5.1.2.8 Alvo confiabilidade

Contador (2008) apresenta que a empresa pode ser caracterizada como confiável em diversas faces como: confiável em qualidade, confiável em preço, em prazo, em atendimento, em responsabilidade social. É fundamental para o sucesso da empresa ser confiável em todas as faces, o que não é fácil de ser alcançado, mas é factível.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja confiabilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode aumentar a confiabilidade nas faces

apresentadas, permitindo a empresa se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

#### 2.5.1.2.9 Alvo sustentabilidade socioambiental

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja sustentabilidade socioambiental, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos da indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, permite à empresa focar em melhorias relacionadas à imagem cívica e imagem preservacionista, ou seja, em responsabilidade social.

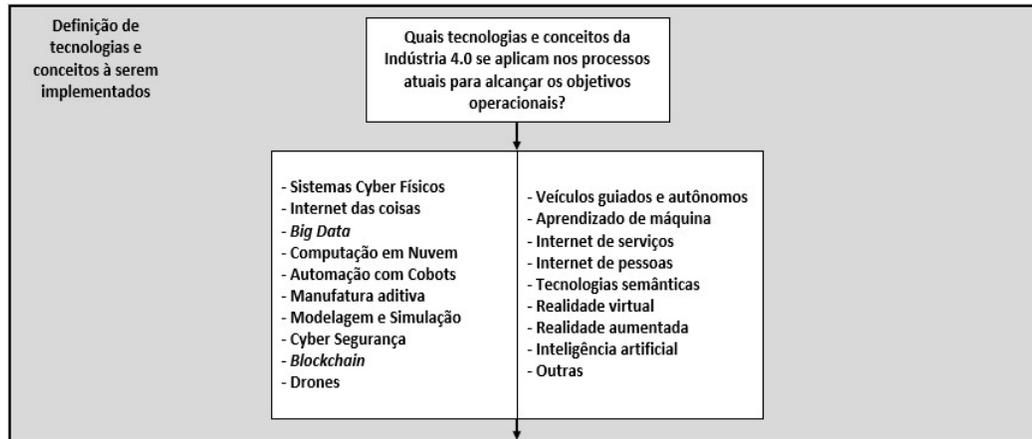
Contador (2008) considera que a empresa que apresenta uma atuação socialmente responsável assegura fidelidade dos clientes, motiva empregados, constrói relações duradouras com fornecedores e gera imagem favorável na sociedade, permitindo, assim, diferenciar-se em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

Caso identifique-se que a realização de *retrofit* suportado por conceitos da Indústria 4.0 não apoie o alcance dos objetivos operacionais ou, não se aplique aos processos ou equipamentos existentes, o modelo propõe que seja avaliada a aquisição de novos equipamentos ou processos. No entanto, sendo possível verificar que conceitos de *retrofit* suportados por tecnologias da Indústria 4.0 apoiem o alcance dos objetivos operacionais, uma análise detalhada das possíveis tecnologias a serem implementadas, deve ser realizada.

#### 2.5.1.3 3ª Etapa do Modelo

A terceira etapa do modelo propõe uma avaliação detalhada e posterior definição dos conceitos tecnológicos presentes na indústria 4.0 que podem, através da realização do *retrofit* ou da aquisição de novos processos e equipamentos, apoiar no alcance dos objetivos operacionais da empresa ou da manufatura. A figura 7 apresenta a terceira etapa do modelo.

Figura 7 – 3ª Etapa de definição de tecnologias e conceitos a serem implementados.



Fonte: Própria.

Inicialmente, deve-se identificar quais são as tecnologias e conceitos da indústria 4.0 que se aplicam aos processos produtivos e da manufatura, para que se alcance os objetivos operacionais estabelecidos na etapa inicial do modelo proposto. Assim, são apresentados 18 áreas e temas de tecnologia que permitem transformar a revolução industrial 4.0 (FERREIRA, *et. al.*, 2022; DILINGER, *et. al.*, 2022). Foi acrescentada a opção “outras” pois, novas tecnologias estão em constante desenvolvimento ou em alguns casos são agrupadas e denominadas de forma diferente.

Faz-se necessário analisar em detalhes o significado de cada uma das 18 tecnologias e suas possíveis tecnologias complementares (FERREIRA, *et. al.*, 2022; DILINGER, *et. al.*, 2022). Avaliar quais são as características, vantagens e desvantagens da aplicação de cada uma dessas tecnologias, sempre com o intuito de avaliar como cada uma delas pode contribuir com os objetivos operacionais da empresa e da manufatura, estabelecidos na primeira etapa do modelo proposto.

Para a análise das tecnologias, propostas nesta etapa, identifica-se como essencial o suporte de especialistas nas respectivas tecnologias e nos processos operacionais e da manufatura, para que possam apoiar a identificação dos riscos, vantagens e desvantagens na implementação delas.

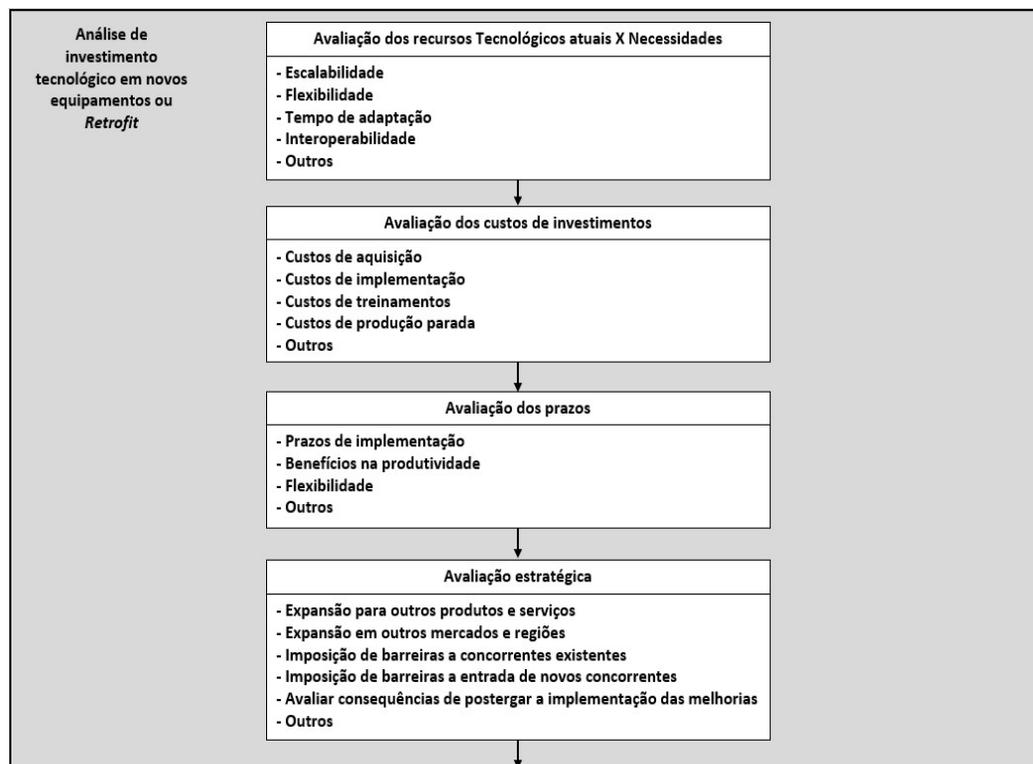
Em resumo, após a finalização da terceira etapa do modelo, e com base nos objetivos operacionais da empresa e da manufatura, realizados nas etapas anteriores do modelo, avaliar quais são as tecnologias que suportam o alcance dos objetivos

operacionais, suas vantagens e desvantagens, sempre avaliando tanto no âmbito de novos equipamentos e processos como na realização de *retrofit*. Concluindo a terceira etapa com a identificação em detalhes das características de cada uma das tecnologias da indústria 4.0.

#### 2.5.1.4 4ª Etapa do Modelo

Para a quarta etapa do modelo, propõe-se uma análise de investimentos em novos equipamentos e processos em comparação com o investimento no *retrofit*, aplicando as tecnologias da indústria 4.0 identificadas. A figura 8 apresenta a quarta etapa do modelo.

Figura 8 – 4ª Etapa para análise de investimento tecnológico.



Fonte: Própria.

Para esta etapa é proposta uma avaliação em quatro blocos sendo que, de forma similar às etapas anteriores, para cada um dos blocos deve-se abordar sempre as duas

possíveis frentes: aquisição de novos equipamentos e processos ou, realização de *retrofit* dos equipamentos e processos existentes.

Para o bloco um, deve ser feita uma avaliação de recursos tecnológicos atuais versus necessidades, com os seguintes tópicos: escalabilidade, flexibilidade, tempo de adaptação e interoperabilidade.

- Escalabilidade, que permite avaliar qual a capacidade do processo ou equipamento em sustentar uma alteração no volume de produção.
- Flexibilidade, que permite avaliar qual a capacidade do processo ou equipamento em se adaptar a novos ou variações dos produtos e serviços.
- Tempo de adaptação, que permite avaliar quanto tempo o processo precisa para se adaptar às mudanças que estão previstas de acontecerem no processo produtivo.
- Interoperabilidade, que permite identificar quão capaz o processo produtivo ou equipamento será de se comunicar ou se integrar com outro sistema, similar ou não. O modelo propõe a opção “outros “, pois, novos tópicos relacionados ao recurso tecnológico atual versus as necessidades atuais podem ser necessários para complementar essa comparação.

Para o bloco dois, avaliação dos custos de investimentos, deve-se avaliar os tópicos de custo de aquisição, custos de implementação, custos de treinamentos e custos de produção parada. Lembrando a necessidade de sempre avaliar tanto no âmbito de aquisição de novo equipamento e processo, quanto no âmbito de realização de *retrofit* dos equipamentos e processos existentes.

- Custos de aquisição, que envolvem não só o investimento do equipamento ou tecnologia, mas também possíveis custos logísticos, de impostos, e de mão de obra para aquisição do novo processo e equipamento ou a realização do *retrofit*.
- Custos de implementação que envolvem instalações, espaços físicos, mão de obra especializada e todos os recursos necessários à tecnologia a ser implementada ou ao novo processo e equipamento.
- Custos de treinamento pois, a partir do momento no qual um novo processo ou equipamento é implementado ou modernizado, possivelmente haverá

necessidade de treinamento da mão de obra que deverá atuar direta ou indiretamente no processo.

- Custos de produção parada pois, tanto para novos processos e equipamentos quanto para modernização de processos existentes, pode ser necessário parar o recurso atual. Importante acrescentar que o investimento na parada desse recurso existente pode adicionar custos tanto de mão de obra quanto de implicações diretas com entregas do produto por mudanças de prazos.

O modelo propõe a opção “outros”, pois novos tópicos relacionados a custos de investimentos podem ser necessários para complementar essa comparação.

Para o bloco três, avaliação dos prazos, deve-se abordar tanto para as opções de novo equipamento quanto para *retrofit*, os tópicos de prazo de implementação, benefícios na produtividade e flexibilidade.

- Prazo de implementação que está relacionado ao tempo necessário para implementação, sendo necessário estar alinhado aos prazos dos objetivos operacionais e da manufatura.
- Benefícios na produtividade pois, uma vez implementado o novo processo e equipamento ou, o processo atual após *retrofit*, pode permitir mudanças nos índices de produtividade; e uma análise nesse tópico com base nos objetivos operacionais da empresa torna-se importante para o modelo.
- Flexibilidade que, dependendo do prazo na implementação de novo equipamento ou processo ou, na modernização do processo atual pode permitir que o mesmo seja flexível em prazo relacionado ao esperado para alcançar os objetivos operacionais. O modelo propõe a opção “outros”, pois novos tópicos relacionados a prazos e benefícios podem ser necessários para complementar essa comparação.

Por fim, para o bloco quatro, avaliação estratégica que, de forma similar deve-se abordar tanto para as opções de novo equipamento quanto para *retrofit*, os tópicos de expansão para outros produtos e serviços, expansão para outros mercados e regiões, imposição de barreiras a concorrentes existentes e imposição de barreiras a entrada de novos concorrentes.

- Expansão para outros produtos e serviços deve ser avaliada tanto para o novo equipamento quanto para o caso de realização do *retrofit* nos equipamentos existentes, não só avaliando a necessidade atual, mas também as decisões estratégicas definidas pela empresa.
- Expansão para outros mercados e regiões devem ser avaliadas de forma similar, não só para a necessidade atual, mas com base na estratégia operacional da empresa.
- Imposição de barreiras a concorrentes existentes e a entrada de novos concorrentes, o que, envolve avaliar quando um novo processo e equipamento, ou a reforma do existente possa estar interligada com a estratégia da empresa em impor barreiras à concorrência atual e possíveis novos concorrentes.

Para o bloco quatro de avaliação estratégica propõe-se uma análise sobre imposição de barreiras a concorrentes existentes e possíveis novos concorrentes, conseqüentemente uma ameaça tanto em produtos quanto em serviços. O modelo propõe a opção “outros “, pois novos tópicos relacionados à estratégia podem ser necessários para complementar essa comparação.

#### 2.5.1.5 5ª Etapa do Modelo

Para a quinta e última etapa do modelo, propõe-se que seja feita uma tabela resumo contendo, nas colunas, os benefícios e sacrifícios da implementação de conceitos de indústria 4.0 em novos equipamentos e processos ou, a realização de *retrofit* nos equipamentos e processos existentes. Nas linhas da tabela, inserir todos os fatores analisados na quarta etapa do modelo proposto para que, no final, a tabela apresente de forma resumida, uma comparação de resultados sobre aquisição de novos equipamentos ou retrofit, com características de vantagens e desvantagens para cada um dos tópicos. A figura 9, apresenta a quinta etapa do modelo.

Figura 9 – 5ª Etapa - Conclusão da análise.



Fonte: Própria.

A proposta da tabela na 5ª etapa é apoiar a tomada de decisão sobre a aquisição de novos processos e equipamentos ou, *retrofit*. Para desenvolvimento da mesma, os conceitos de benefícios e sacrifícios devem ser aplicados (CONTADOR 2008).

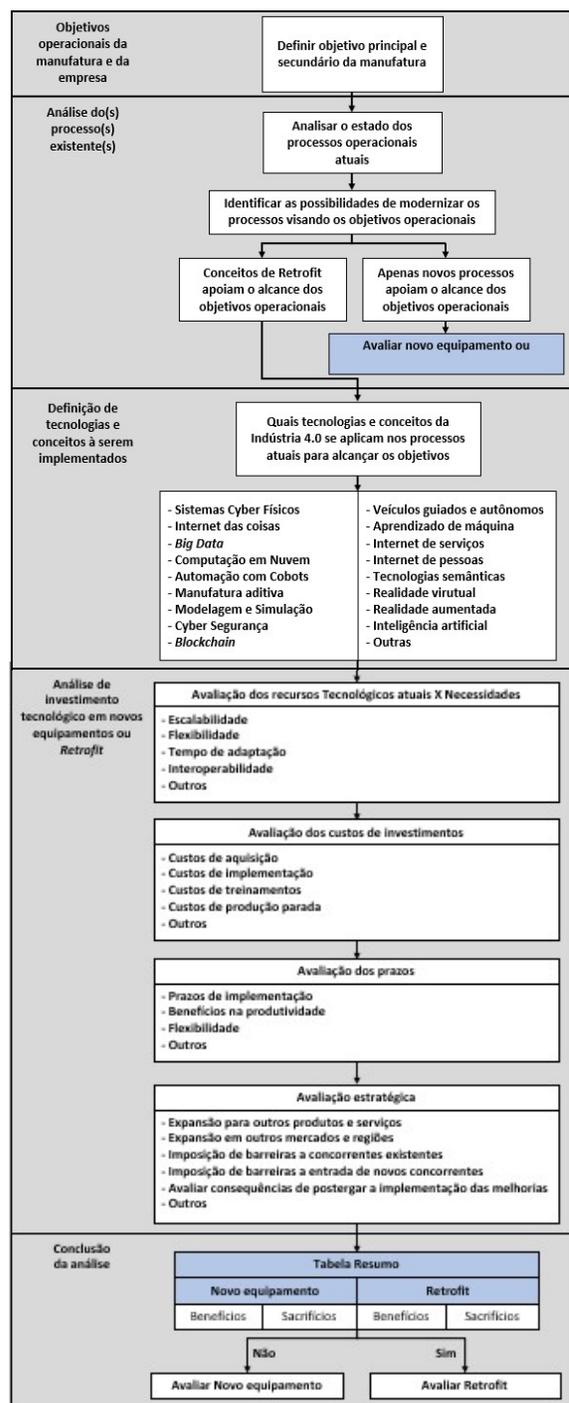
Na visão do cliente, benefício de um produto é o conjunto de utilidades, proveitos e vantagens materiais ou psicológicas de um produto e, sacrifício é o conjunto de dispêndios monetários e psicológicos necessários ao desfrute do produto e inclui, além do preço, as despesas monetárias de procura, avaliação, utilização e descarte e os dispêndios psicológicos, como angústia, temor e/ou aborrecimento.

No entanto, torna-se igualmente importante a avaliação com base no cliente, a avaliação com base na estratégia operacional da empresa e da manufatura, conforme definido na primeira etapa do modelo.

#### 2.5.1.6 Modelo Completo

Desta forma, o modelo completo é apresentado na figura 10 como proposta de um modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos da indústria 4.0 para auxiliar na tomada de decisão sobre aquisição de novos equipamentos e processos ou realização de *retrofit*. A figura 10 apresenta o modelo proposto.

Figura 10 – Modelo completo proposto.



Fonte: Própria.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia aplicada nesta pesquisa, com o objetivo de responder à pergunta de pesquisa e atingir os objetivos presentes no capítulo um. Torna-se importante ressaltar que as palavras-chaves e outras correlacionadas, quando pesquisadas nas bases da literatura, deram fundamento para o capítulo dois que apresenta uma revisão sistemática.

#### 3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

Tem-se por metodologia a aplicação de técnicas e procedimentos que precisam ser observados para a construção de um conhecimento, com o intuito de comprovar sua utilidade e validade. É uma disciplina que estuda, compreende e avalia vários métodos disponíveis e possíveis para uma pesquisa acadêmica. Por existir mais de uma forma de conhecimento, faz-se necessário destacar o conhecimento científico e o seu oposto, conhecido por conhecimento popular (PRODANOV *et al.*, 2013).

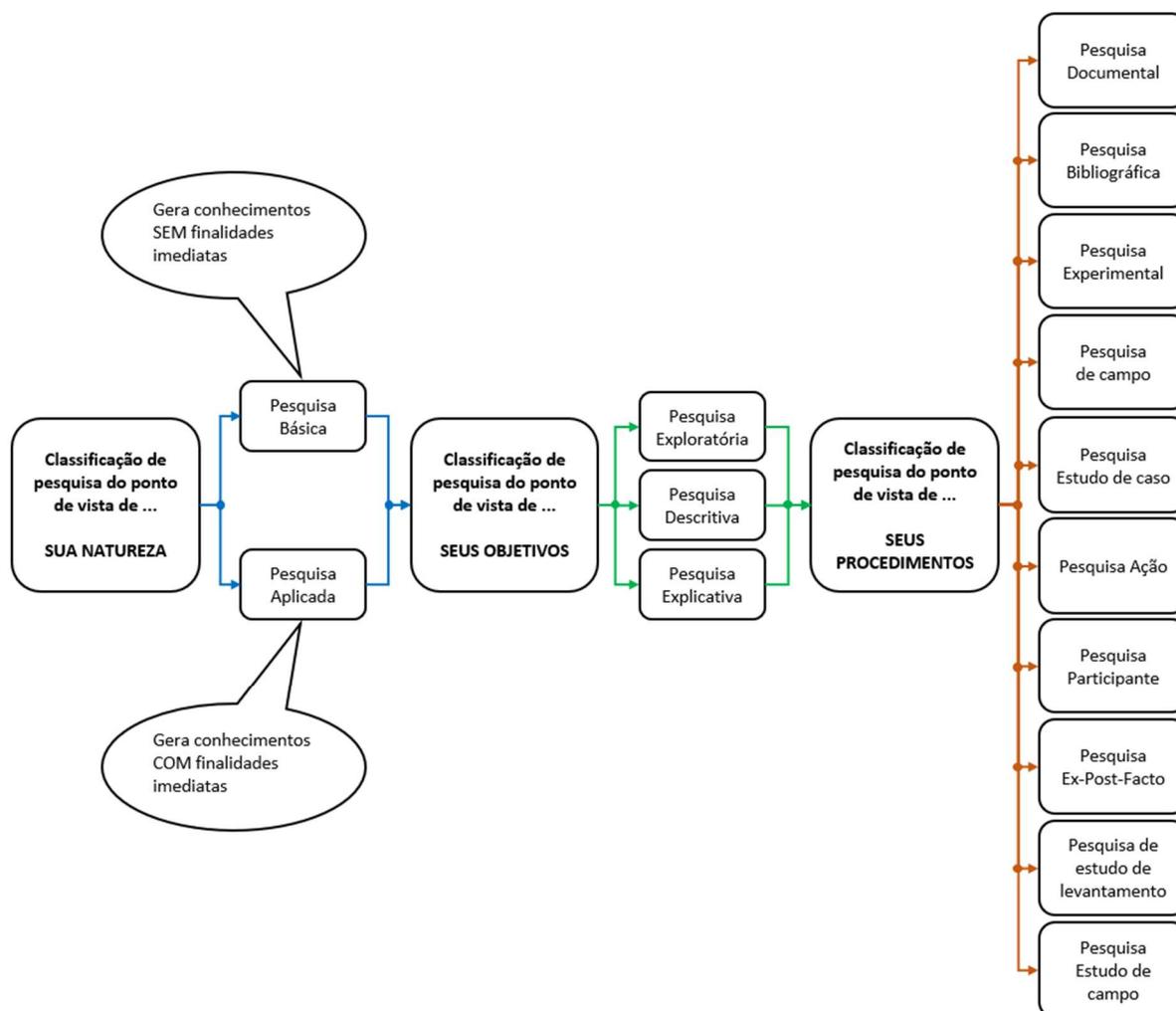
O conhecimento popular é superficial, não se pode comprovar de forma científica e é criado por experiências pessoais ou apenas suposições, é subjetivo, assistemático, acrítico e sensitivo (LAKATOS *et al.*, 2007).

O conhecimento científico se difere justamente pela fundamentação e a existência de uma metodologia a ser seguida que, são somadas a uma base de informações que são classificadas e submetidas a uma verificação (PRODANOV *et al.*, 2013). Para que um conhecimento possa ser caracterizado como científico, faz-se necessário identificar os procedimentos e técnicas que possibilitaram a sua verificação (GIL, 2008). Assim, podemos definir como método científico um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicas que são adotados com o objetivo de atingir determinado conhecimento (PRODANOV *et al.*, 2013).

Uma pesquisa científica visa o conhecimento científico e/ou demais aspectos sobre determinado conteúdo; deve ser sistemática, metódica e crítica, contribuindo para o crescimento do conhecimento humano. Existem algumas formas para se classificar as pesquisas, podendo ser: do ponto de vista de sua natureza, do ponto de vista dos procedimentos e do ponto de vista dos objetivos (PRODANOV *et al.*, 2013). A

classificação desta pesquisa se encontra no item 3.2 deste trabalho. A figura 11 apresenta os tipos de pesquisa científica.

Figura 11 - Tipos de pesquisa científica.



Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas (2013) e Nascimento (2022).

### 3.1.1 Pesquisa do Ponto de Vista de sua Natureza

Do ponto de vista de sua natureza, pode ser dividida em pesquisa básica e pesquisa aplicada. A pesquisa básica é caracterizada por gerar novos conhecimentos para o avanço da ciência, no entanto, sem aplicação prática prevista. A pesquisa aplicada, se caracteriza por gerar novos conhecimentos para o avanço da ciência, no

entanto, dirigidos à solução de algum problema específico e previamente determinado, já com finalidades imediatas (PRODANOV *et al.*, 2013).

### 3.1.2 Pesquisa do Ponto de Vista dos Objetivos

Do ponto de vista dos objetivos, as pesquisas podem ser divididas em pesquisa descritiva, pesquisa explicativa e pesquisa exploratória. Na pesquisa descritiva, o pesquisador registra os fatos observados na íntegra, sem interferir em qualquer momento. Envolve uso de técnicas de coleta de dados através de questionários e observação sistemática. A pesquisa explicativa se caracteriza quando o pesquisador explica motivos e causas através de registros, análises, classificação e interpretação do objeto de pesquisa que está sendo observado (GIL, 2008).

### 3.1.3 Pesquisa do Ponto de Vista dos Procedimentos

Sob o ponto de vista dos procedimentos, está relacionada à maneira pela qual obtém-se os dados para a elaboração da pesquisa, apresentando as divisões de: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, pesquisa de levantamento de informações, pesquisa de campo, estudo de caso, pesquisa *ex-post-facto*, pesquisa ação e pesquisa participante (PRODANOV *et al.*, 2013).

É caracterizada como pesquisa bibliográfica quando elaborada partindo de materiais já publicados em livros, revistas, periódicos, artigos científicos, dissertações, teses entre outros que permitem ao pesquisador acesso a um conteúdo já escrito sobre o assunto (GIL, 2008).

A pesquisa documental possui características que permitem confundi-la com a pesquisa bibliográfica, sendo a principal diferença a natureza dos materiais utilizados, pois a pesquisa documental se baseia em materiais que ainda não receberam um tratamento analítico e ser revisado (GIL, 2008).

Na pesquisa experimental o pesquisador busca reproduzir as condições de um fato e observá-lo sob controle das variáveis que podem influenciá-lo (GIL, 2008).

A pesquisa de levantamento de informações, ou também chamada de *survey*, é uma interrogação direta a especialistas onde se busca conhecer os comportamentos através de algum questionário (GIL, 2008).

A pesquisa de campo tem como objetivo buscar informações e/ou conhecimentos sobre um problema, uma hipótese da qual o pesquisador está buscando comprovar fenômenos ou relações entre eles. Pesquisas de campo consistem em observar fenômenos que ocorrem de forma espontânea (GIL, 2008).

O estudo de caso busca aplicação prática de conhecimentos já registrados para a solução de problemas sociais (PRODANOV *et al.*, 2013).

A pesquisa *ex-post-facto* se caracteriza quando está sendo realizada uma experiência após a ocorrência do fato, analisando situações que se desenvolveram naturalmente após o acontecimento do mesmo (PRODANOV *et al.*, 2013).

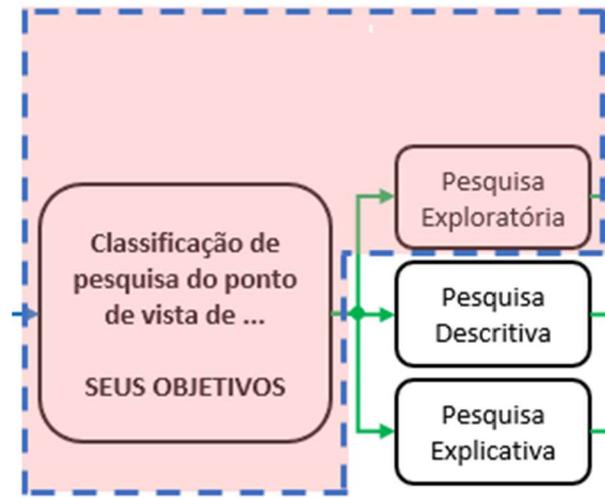
A pesquisa ação é concebida em associação com a solução de um problema coletivo e, com a participação de representantes da situação e do problema, trabalhando de forma cooperativa (PRODANOV *et al.*, 2013).

Por fim, a pesquisa participante que, se desenvolve em um ambiente no qual membros das situações a serem pesquisadas e analisadas, interagem com os pesquisadores (PRODANOV *et al.*, 2013).

### 3.2 MÉTODO APLICADO

Uma vez que foi verificada uma quantidade relativamente baixa de trabalhos científicos sobre a lacuna de pesquisa, considerando as bases e restrições da pesquisa somadas à relevância identificada do tema, será aplicada uma pesquisa de tipo exploratória, buscando a coleta de informações, observando e identificando condições reais relacionadas ao tema, utilizando o método DELPHI. A figura 12 apresenta o tipo de pesquisa para este trabalho.

Figura 12 – Pesquisa qualitativa e exploratória.



Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas (2013).

O método DELPHI se caracteriza como uma forma de pesquisa qualitativa e exploratória, através de consulta a especialistas, que não sabem quem participa do mesmo, nem interagem diretamente entre si. Através de suas opiniões, alterações são realizadas no modelo original, sendo então passadas a todos os especialistas em nova rodada, com o objetivo de se atingir o consenso, ou o mais próximo disto possível, visando aprimorar ao máximo o modelo original. O número máximo de rodadas são três (SAMPLERI *et al.*, 2013).

A pesquisa qualitativa é uma abordagem que estuda aspectos subjetivos, que não são quantificados em equações e estatísticas. Uma análise qualitativa exige um estudo amplo considerando o contexto do assunto abordado, assim como outros fatores como o momento temporal no qual a pesquisa está sendo realizada, a localização e a cultura. A pesquisa qualitativa permite como resultado um material de apoio para conclusões sobre o objeto de estudo (PRODANOV *et al.*, 2013; HALOWELL *et al.*, 2022).

A pesquisa exploratória é uma forma que permite ao pesquisador ter uma proximidade do objeto em estudo, buscando entrevistas com especialistas no assunto estudado, pesquisa em campos que contextualizam o tema pesquisado e orientam na formulação de hipóteses que suportam a pesquisa (PRODANOV *et al.*, 2013).

Desta forma, baseado nas definições de pesquisa qualitativa e exploratória para o tema proposto, buscando uma integração entre a teoria e a prática do assunto abordado, o DELPHI foi selecionado como o método de pesquisa para que seja possível desenvolver o trabalho de campo e verificar a aplicabilidade do modelo proposto (HABIBI *et al.*, 2014; PRODANOV *et al.*, 2013).

A proposta é apresentar o trabalho para análise de cinco a oito especialistas selecionados pela área de conhecimento e experiência e, que estejam relacionados ao tema do trabalho. Realizar uma abordagem inicial para discussão do tema proposto seguido pela definição do objetivo da pesquisa. Será apresentada a referência bibliográfica que permite contextualizar, com mais detalhes, o assunto a ser analisado. No final da contextualização, debater sobre o modelo proposto para esclarecer a proposta do mesmo (PRODANOV *et al.*, 2013).

Após análise e retorno dos especialistas, uma verificação dos dados coletados e análise de consenso dos resultados será realizada. Poderá haver alguma modificação do modelo proposto e, assim será feita uma nova rodada de análise com os especialistas para posterior avaliação. Conforme características do método DELPHI, haverá um limite máximo de três rodadas entre análise dos especialistas e reavaliação do modelo proposto, para posterior conclusão dos resultados (AVELLA, 2016; PRODANOV *et al.*, 2013).

### 3.3 METODOLOGIA PARA REVISÃO DA LITERATURA

Alinhada com os objetivos específicos deste estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases SCOPUS e Web Of Science com os seguintes critérios:

- Palavra-chave: “*Industry 4.0*”.
- Filtro pelos idiomas: Inglês, português e espanhol.
- Filtro pela data: Trabalhos publicados a partir de 2012 pois, entende-se que o termo indústria 4.0 surgiu apenas em 2011 e assim, apenas trabalhos após essa data foram considerados.

- Filtro pelas áreas de aplicação: Engenharia, Gestão de negócios e Ciências analíticas, pois entende-se que são as áreas macro relacionadas ao tema. A tabela 1, mostra de forma resumida, os resultados obtidos.

Tabela 1 – Critérios de pesquisa 1.

Critérios da pesquisa		Resultados obtidos	
Palavras-chave	Filtros	SCOPUS	Web of Science
"Industry 4.0"	Inglês, Português, Espanhol	18188	13665
"Industry 4.0"	A partir do ano 2012	18188	13665
"Industry 4.0"	<i>Engineer, Business Manager and Accounting, Decision Sciences</i>	12943	2572

Fonte: Própria.

Como a quantidade de resultados obtidos foi relativamente grande, tornando inviável a avaliação de todos dentro do escopo deste trabalho, outra palavra-chave foi acrescentada na busca e inicialmente sem filtros, reproduzindo os resultados demonstrados na tabela 2.

Tabela 2 – Critérios de pesquisa 2.

Critérios da pesquisa		Resultados obtidos	
Palavras-chave	Filtros	SCOPUS	Web of Science
"Industry 4.0" AND "Retrofit"	Sem filtros	85	50

Fonte: Própria.

Removendo os trabalhos duplicados das respectivas bases, encontrou-se 91 trabalhos científicos que foram analisados primeiramente pelo título, seguidos pelo resumo e, posteriormente pelo respectivo conteúdo. A tabela 3 apresenta esses dados.

Tabela 3 – Critérios de pesquisa 3.

Critérios da pesquisa		Resultados obtidos
Palavras-chave	Filtros	SCOPUS + Web of Science
"Industry 4.0" AND "Retrofit"	Sem filtros	91

Fonte: Própria.

Foi identificada, considerando a base pesquisada e as restrições informadas, uma quantidade relativamente pequena de trabalhos e, para os trabalhos analisados, não foram encontrados modelos que deem apoio para a gestão na análise de investimento tecnológico para tomada de decisão sobre a realização do *retrofit* ou para o investimento em novos processos.

Os trabalhos puderam contribuir para a revisão bibliográfica com conceitos importantes do tema indústria 4.0 e as respectivas tecnologias envolvidas, assim como para o tema *retrofit* e para implementação de processos na manufatura. No entanto, nenhum deles diretamente no apoio à gestão para tomada de decisão.

Da pesquisa realizada, todos os trabalhos que apresentavam uma relação direta entre *retrofit* e indústria 4.0, demonstravam o processo de *retrofit* sendo realizado e não como se caracterizou a decisão por realizá-lo, diferente do proposto para este trabalho, dando ênfase maior à lacuna de pesquisa identificada nesta dissertação. Parte dos trabalhos apresentam apenas implementação de conceitos da indústria 4.0 e suas tecnologias, focando essencialmente na fase operacional de implementação de sistemas.

Para o termo *retrofit*, identificou-se trabalhos apenas para a área de engenharia civil com objetivo de implementar conceitos de indústria 4.0 para eficiência energética e redução de impactos ao meio ambiente. No entanto, de forma similar ao tema indústria 4.0, demonstravam, apenas, a fase operacional da implementação e não, a fase de tomada de decisão.

### 3.4 INSTRUMENTO DE PESQUISA

Foi elaborado um instrumento de pesquisa que está presente no apêndice de número dois deste trabalho e, antes da realização da entrevista, os entrevistados receberam uma carta convite que está presente no apêndice de número um deste trabalho. A carta convite visa esclarecer sobre os objetivos, sobre confidencialidade dos dados e, tem como finalidade agradecer todo o apoio do entrevistado em participar e contribuir para esta pesquisa.

#### 3.4.1 Coleta de Dados na Pesquisa

Com o objetivo de coletar e registrar as informações adquiridas nas entrevistas realizadas com os especialistas, foi elaborado um questionário com questões abertas e fechadas, de múltipla escolha, que utilizam a escala *Likert*, permitindo identificar o nível de compreensão das etapas nas quais o modelo proposto foi dividido. Foi elaborado um questionário com perguntas semelhantes para todos os participantes (GIL, 1999).

Todas as entrevistas foram realizadas por vídeo chamada, uma vez que todos os entrevistados sugeriram a entrevista de forma remota. Desta forma foi possível garantir que as respostas ao questionário fossem realizadas pelo próprio entrevistado. Ao acompanhar o entrevistado no preenchimento das respostas, buscou-se garantir o entendimento do entrevistado sobre os tópicos da pesquisa assim como sanar possíveis dúvidas sobre o questionário.

Durante toda a entrevista, quando necessário por motivos de dúvida e/ou esclarecimento, o pesquisador apresentava conteúdo do referencial teórico como base para as etapas sugeridas no modelo proposto, apoiando o entrevistado com maiores detalhes sobre o tema.

#### 3.4.2 Pré-Teste dos Instrumentos de Pesquisa

Antes de compartilhar o material de pesquisa e realizá-la com os entrevistados, foi realizada uma fase de pré-teste na qual, o instrumento de pesquisa foi apresentado a um professor e pesquisador. O mesmo foi escolhido por conveniência, facilidade de acesso

e, principalmente, por ser um profissional especialista com mais de cinco anos de experiência em pesquisa e em conceitos de indústria 4.0 tornando-o similar ao perfil previsto dos entrevistados (GIL, 2002).

O professor orientador, após avaliar o instrumento de pesquisa, sugeriu alterações, que foram realizadas, para sua posterior apresentação aos entrevistados.

### 3.4.3 Definição da Amostra de Especialista

A facilidade de acesso, disponibilidade e envolvimento direto ou indireto com o tema, foram critérios utilizados para a seleção, por conveniência, dos especialistas para a pesquisa, aplicando o conceito de amostragem proposital (PATTON, 2002).

Alinhado ao tema, buscou-se selecionar profissionais com cargos, funções e/ou formação diretamente relacionadas a liderança, engenharia de produção, engenharia de processos e engenharia de automação. Os profissionais de cargos de liderança foram selecionados por serem responsáveis ou corresponsáveis por decisões relacionadas à implementação de conceitos da Indústria 4.0 nos processos que são responsáveis. Os profissionais de engenharia foram selecionados por apoiarem os profissionais de liderança nas decisões sobre implementação dos conceitos da indústria 4.0 assim como nos projetos de modernização de processos existentes.

O convite para realização da pesquisa, foi enviado para seis especialistas que possuem o seguinte perfil:

Especialista 1, com graduação em Engenharia de Produção, exercendo a função de Engenheiro de Projetos, atuando há um ano na função. Suporta e faz parte do comitê de decisão sobre realização de modificações no sistema produtivo, tanto para modernização de processos produtivos em busca de conceitos da Indústria 4.0 como, para implementação de novos produtos e processos produtivos. Suporta engenharia de produção na identificação de melhorias no processo produtivo.

Especialista 2, com graduação em Engenharia de Controle e Automação, exercendo a função de Engenheiro de Automação, atuando há oito anos na função. Realiza projetos de automação e integração de sistemas para os processos produtivos.

Suporta a gestão de processos nos requisitos técnicos relacionados à modernização dos processos e implementação dos conceitos da Indústria 4.0 na fábrica.

Especialista 3, com graduação em Engenharia de Produção, exercendo a função de Técnico de Sistemas, atuando há nove anos na função. Realiza projetos de automação de sistemas de controle de produção, e integração de sistemas de controle de produção com equipamentos da fábrica. Suporta a gestão e a engenharia de automação na integração de sistemas legados com sistemas modernos.

Especialista 4, com graduação em Engenharia de Produção e pós-graduação em Gerenciamento de Projetos, exercendo a função de Engenheiro de Planejamento Técnico de Processos Sênior, atuando há 17 anos na função. Realiza projetos de modernização do processo produtivo, com o objetivo de aplicar conceitos de Indústria 4.0. Realiza projetos de integração de novos produtos no processo produtivo, modernização dos sistemas existentes buscando atender normas de qualidade, normas de cliente e requisitos de segurança operacional e tecnológica. Suporta engenharia de produto na aplicação de sistemas de rastreabilidade do produto e do processo. Suporta a gestão na decisão sobre implementação de novos processos ou na modificação de processos existentes.

Especialista 5, com graduação em Engenharia de Automação e Controle e pós-graduação em Gestão de Pessoas, exercendo a função de líder de equipe de engenharia, atuando há 22 anos na função. Atua como líder do time de engenharia de processos e produção, suportando em análise de indicadores do processo produtivo, em busca de melhorias no processo produtivo, apoia a equipe na fase de conceito sobre melhorias no processo produtivo, suporta engenharia de produto na implementação de produtos no processo produtivo, suporta outras equipes da engenharia industrial, engenharia de automação, engenharia de produtos e engenharia de qualidade no desenvolvimento de novos processos.

Especialista 6, com graduação em Engenharia Elétrica e pós-graduação em Gerenciamento de Projetos, exercendo a função de Engenheiro de Projetos Sênior, atuando há 33 anos na função. Atua como engenheiro e consultor, especialista em projetos de automação para modernização dos processos produtivos, modificações dos processos existentes para adequação de novos produtos, aplicação de conceitos da

Indústria 4.0 nos processos existentes, desenvolvimento de novos processos produtivos, elaboração de orçamentos para novos processos produtivos e modificação dos processos existentes. Suporta a gestão no processo de idealizar novos processos mapeando pontos críticos junto aos times de Engenharia de Processo, Engenharia de Produção, Engenharia de Produto, Gestão da Produção, Tecnologia de Informação e ao time de Infraestrutura para Tecnologia de Informação.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO DELPHI – 1ª RODADA

A pesquisa foi apresentada e realizada com cinco dos seis especialistas convidados. Um dos especialistas não disponibilizou uma agenda para realizar a entrevista e, visando manter o prazo proposto e necessário para este trabalho, a entrevista com o mesmo não pode ser realizada. Assim, a primeira rodada se encerrou com a entrevista dos especialistas 1, 2, 3, 4 e 5, e, conseqüentemente, não possui o parecer do especialista 6. A entrevista foi realizada de forma similar com todos os entrevistados, por vídeo chamada e dividida nas seguintes etapas.

#### 4.1.1 Primeira Etapa da Entrevista

Na primeira etapa da entrevista, realizou-se uma introdução sobre o projeto. Iniciou-se com um agradecimento antecipado pela presença e contribuição do entrevistado para com o projeto em desenvolvimento. Em seguida, foi realizada uma introdução sobre o tema do projeto proposto, seguida por: apresentação da estrutura do trabalho, apresentação dos objetivos, apresentação da questão de pesquisa e, apresentação dos tópicos que foram abordados na referência bibliográfica e deram suporte para o desenvolvimento do modelo de análise de investimento.

Deixou-se claro aos entrevistados o total sigilo das suas respostas bem como a livre iniciativa deles em continuar respondendo à pesquisa.

#### 4.1.2 Segunda Etapa da Entrevista

Na segunda etapa da entrevista, foi realizada uma apresentação do modelo proposto. Inicialmente foi apresentado o modelo de forma completa, ainda sem muitos detalhes do conteúdo, com o objetivo de apresentar ao entrevistado uma visão geral do modelo em formato de fluxograma que se propõe a ser um guia para o usuário na realização das etapas do mesmo.

Após a apresentação geral do modelo, foram apresentadas cada uma das etapas de forma detalhada, sendo apresentada a etapa em figura, seguida pelo objetivo, o descritivo e, o resultado esperado de cada etapa do modelo.

Ao final da apresentação de cada uma das etapas do modelo e seu respectivo conteúdo, foram apresentadas duas afirmativas e, pediu-se ao entrevistado identificar através de uma escala *Likert*, a concordância sobre as duas afirmações realizadas. Foi ressaltado nesse momento que, não havia respostas corretas ou incorretas e, que a contribuição das respostas realizadas não seria compartilhada entre os entrevistados e nem seria possível identificar qual entrevistado realizou as mesmas.

A primeira afirmativa realizada para avaliação das etapas foi: Os objetivos da etapa estão claros. Na tabela 4 podemos identificar os resultados obtidos para essa afirmativa, em que a concordância se deu com 96% dos entrevistados sendo que apenas um informou não saber.

Tabela 4 – Os objetivos da etapa estão claros X quantidade de entrevistados.

	<b>Discordo Totalmente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não sei</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo Totalmente</b>
<b>Etapa 1</b>				3	2
<b>Etapa 2</b>				3	2
<b>Etapa 3</b>			1	2	2
<b>Etapa 4</b>				2	3
<b>Etapa 5</b>				3	2

Fonte: Própria.

A segunda afirmativa realizada para cada etapa foi: O descritivo desta etapa apoia o entendimento da mesma. Na tabela 5 podemos identificar os resultados obtidos para essa afirmativa com concordância de todos os entrevistados.

Tabela 5 – O descritivo da etapa apoia o entendimento da mesma X quantidade de entrevistados.

	<b>Discordo Totalmente</b>	<b>Discordo</b>	<b>Não sei</b>	<b>Concordo</b>	<b>Concordo Totalmente</b>
<b>Etapa 1</b>				4	1
<b>Etapa 2</b>				4	1
<b>Etapa 3</b>				3	2
<b>Etapa 4</b>				3	2
<b>Etapa 5</b>				2	3

Fonte: Própria.

Seguidas das afirmativas para identificação de concordância através da escala Likert, duas perguntas descritivas foram realizadas sobre a respectiva fase que estava sendo apresentada.

Primeira pergunta: Você sugere alguma alteração nos objetivos da etapa do modelo? Os resultados para a pergunta se encontram de forma resumida na tabela 6, em que foi sugerida apenas alteração de título.

Tabela 6 – Proposição de alterações nos objetivos das etapas do modelo.

	<b>Não</b>	<b>Sim</b>	<b>Quais?</b>
<b>Etapa 1</b>	5	0	
<b>Etapa 2</b>	5	0	
<b>Etapa 3</b>	4	1	'O título da etapa, definição de tecnologias a serem implementadas, parece estar limitando o objetivo do modelo. Minha proposta para o título seria: Análise das possíveis tecnologias que suportam a Indústria 4.0. Essa alteração sugere uma análise e não uma definição, que pode assim permitir que o aplicador do modelo conheça, busque e faça uma análise de cada uma das tecnologias existentes no momento' (ENTREVISTADO 5).
<b>Etapa 4</b>	5	0	
<b>Etapa 5</b>	5	0	

Fonte: Própria.

Segunda pergunta: Você sugere alguma alteração no conteúdo de apoio para a etapa do modelo? Os resultados para a pergunta se encontram de forma resumida na tabela 7 em que foram apresentadas várias sugestões de melhoria.

Tabela 7 – Proposição de alterações no conteúdo de apoio para a etapa do modelo.

	Não	Sim	Quais?
<b>Etapa 1</b>	4	1	‘Sugiro um exemplo de como essa etapa é realizada que, acredito ser mais relacionada à direção da empresa’ (ENTREVISTADO 5).
<b>Etapa 2</b>	3	2	‘Acredito ser uma fase mais ampla e sugiro uma expansão nos questionamentos desta fase, com exemplos de questionamentos a serem feitos’ (ENTREVISTADO 3).  ‘Acrescentar no descritivo boas práticas de como obter informações do estado atual dos processos e equipamentos’ (ENTREVISTADO 5).
<b>Etapa 3</b>	5	0	
<b>Etapa 4</b>	4	1	‘Sugiro que o descritivo apresente um exemplo aplicando esta fase’ (ENTREVISTADO 2).
<b>Etapa 5</b>	4	1	‘Sugiro acrescentar, de forma mais explícita, que a tabela resumo é dinâmica, assim como os objetivos operacionais da manufatura’ (ENTREVISTADO 3).

Fonte: Própria.

Após a apresentação de todas as etapas do modelo e avaliação das mesmas, foi verificado com cada um dos entrevistados se os mesmos concordavam que o modelo apoiava a gestão em uma análise de investimento tecnológico sobre a realização do *retrofit* ou aquisição de novos equipamentos com o objetivo de implementar conceitos da indústria 4.0. Conforme resposta de todos os entrevistados, o modelo proposto apoia a gestão na decisão, atendendo assim o objetivo dessa pesquisa.

#### 4.1.3 Discussões da 1ª Rodada do DELPHI

Baseado nos resultados apresentados da tabela 4, entende-se que houve concordância sobre os objetivos de cada etapa do modelo. Para as etapas 1, 2, 4 e 5, 100% dos entrevistados ficaram entre os termos “concordo” ou “concordo totalmente”, caracterizando-se como unânime a concordância para os objetivos dessas etapas. Na etapa 3, na qual um entrevistado, ou seja, 20%, selecionou o termo de “não sei”; buscou-se entender do entrevistado o motivo dessa resposta e, conforme alinhado pelo mesmo, a ausência de experiência profissional para com o objetivo desta etapa não permitiu ao

mesmo uma resposta diferente. Ele concluiu que, concorda que nesta fase a presença de um especialista nas tecnologias e suas possíveis aplicações seja essencial, conforme sugerido no texto descritivo da etapa.

Baseado nos resultados apresentados na tabela 5, entende-se que houve concordância sobre o descritivo das etapas darem o apoio para o entendimento das mesmas. Para as etapas 1, 2, 3, 4 e 5, 100% dos entrevistados ficaram entre os termos “concordo” ou “concordo totalmente”, caracterizando-se como unânime a concordância sobre o descritivo das etapas darem o apoio necessário para o entendimento das mesmas.

Os resultados apresentados na tabela 6, mostram as sugestões dos entrevistados para alterações nos objetivos das etapas. Para as etapas 1, 2, 4 e 5, houve unanimidade entre os entrevistados não sugerindo mudanças nos objetivos das etapas do modelo. Na etapa 3, um entrevistado sugeriu uma mudança no título pois, segundo palavras do próprio entrevistado:

‘O título da etapa, definição de tecnologias a serem implementadas, parece estar limitando o objetivo do modelo. Minha proposta para o título seria: Análise das possíveis tecnologias que suportam a Indústria 4.0. Essa alteração sugere uma análise e não uma definição, que pode assim permitir que o aplicador do modelo conheça, busque e faça uma análise de cada uma das tecnologias existentes no momento’ (ENTREVISTADO 5).

Os resultados apresentados na tabela 7, mostram as sugestões dos entrevistados em relação ao conteúdo de apoio para a realização das etapas do modelo. Apenas para a etapa 3 houve unanimidade entre os entrevistados, não sugerindo mudanças no conteúdo de apoio para realização das etapas do modelo. Para as etapas 1, 2, 4 e 5 houve sugestões e, em todas sugestões apresentadas, buscou-se o mesmo conteúdo, ou seja, um exemplo de como essa etapa pode ser realizada ou, no caso da etapa 5, como poderia ser um exemplo da tabela resumo, sugerida no descritivo de apoio da respectiva etapa.

Com base nas concordâncias sobre as afirmativas, obtidas através da escala *Likert*, nas respostas para as perguntas descritivas sobre os objetivos e sobre o conteúdo de apoio para cada etapa do modelo e, somando as sugestões para cada etapa do modelo, identificou-se que houve unanimidade na aprovação do modelo, com algumas sugestões de alterações apenas para o descritivo de apoio para realização do mesmo.

#### 4.1.4 Alterações Realizadas

##### 4.1.4.1 Atualizações primeira etapa

A primeira etapa do modelo não passou por alterações assim como o respectivo descritivo não foi alterado. Baseados nos resultados obtidos, por unanimidade, os objetivos e o descritivo apoiam o desenvolvimento da etapa.

A sugestão do entrevistado 5 sobre exemplos está presente no descritivo da etapa que, possui uma tabela seguida por uma explicação sobre sua aplicação.

De forma adicional, o referencial teórico no capítulo 2 apresenta conteúdo e referências adicionais para o tema, não cabendo este conteúdo apresentar-se no modelo, para simplificação do mesmo.

##### 4.1.4.2 Atualizações segunda etapa

A segunda etapa do modelo não passou por alterações assim como o respectivo descritivo não foi alterado. Baseados nos resultados obtidos, por unanimidade, os objetivos e o descritivo apoiam o desenvolvimento da etapa.

A sugestão do entrevistado 3, sobre exemplos, está presente no descritivo da etapa que possui subcapítulos com exemplos de atuação nos campos de competição. Como adicional aos exemplos, o capítulo 2 apresenta conteúdo e referências complementares para o tema.

A sugestão do entrevistado 5 sobre inserir boas práticas para aplicação do modelo não se aplica ao escopo desse projeto, pois o mesmo não foi avaliado em campo e, conseqüentemente, não possui conteúdo com boas práticas na aplicação do modelo ou em parte do mesmo.

#### 4.1.4.3 Atualizações terceira etapa

A terceira etapa do modelo passou por alteração no título da etapa, conforme sugerido pelo entrevistado 5. Sendo assim - alterado de definição de tecnologias e conceitos a serem implementados para análise das possíveis tecnologias que suportam a indústria 4.0.

O descritivo da etapa não passou por alterações, pois conforme resultado da pesquisa, o descritivo somado ao conteúdo do referencial teórico apoia o entendimento da mesma.

#### 4.1.4.4 Atualizações quarta etapa

A quarta etapa do modelo não passou por alterações assim como o respectivo descritivo não foi alterado. Baseados nos resultados obtidos, por unanimidade, os objetivos e o descritivo apoiam o desenvolvimento da etapa.

Em relação à sugestão do entrevistado 2, sobre exemplos, está presente no descritivo da etapa um detalhamento de cada bloco e cada tópico da etapa, permitindo um entendimento básico sobre os tópicos abordados.

Como adicional, o capítulo 2 possui referências que complementam o conteúdo necessário com maiores detalhes sobre conceitos relativos aos temas apresentados na etapa.

#### 4.1.4.5 Atualizações quinta etapa

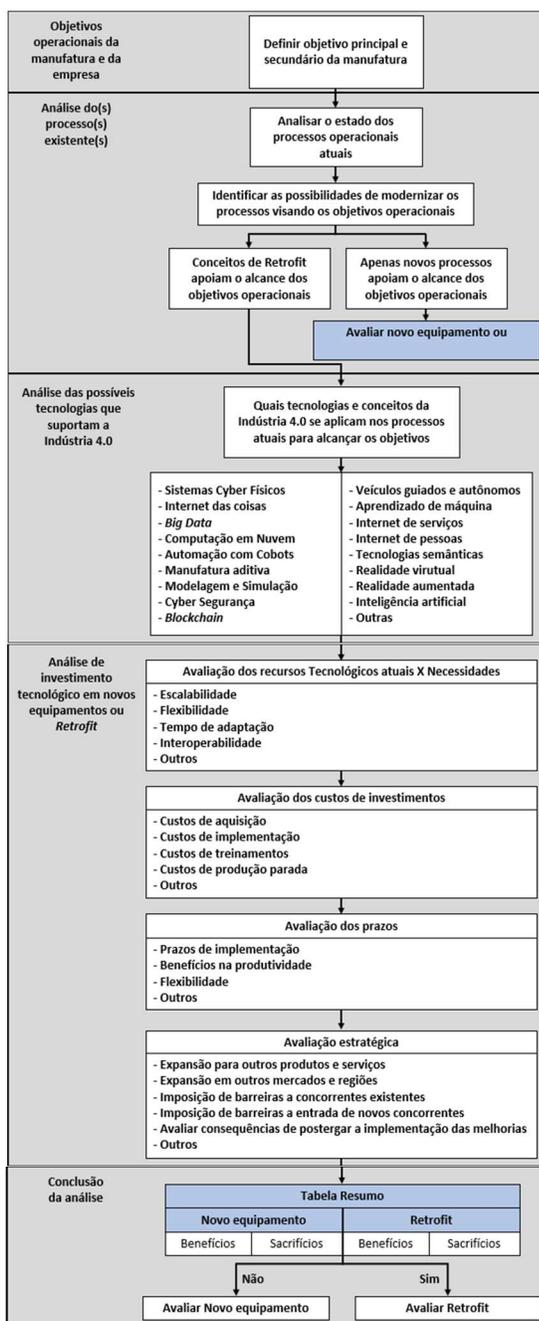
A quinta etapa do modelo não passou por alterações. Baseados nos resultados obtidos, por unanimidade, os objetivos e o descritivo apoiam o desenvolvimento da etapa.

Conforme a sugestão do entrevistado 3, sobre exemplos para utilização da tabela resumo, foram acrescentados ao descritivo da etapa 5, exemplos e um conteúdo com o objetivo de apoiar com maiores detalhes a aplicação da etapa utilizando-se da tabela resumo.

## 4.2 MODELO FINALIZADO

Apresenta-se aqui na figura 13 o modelo finalizado.

Figura 13 – Modelo finalizado.

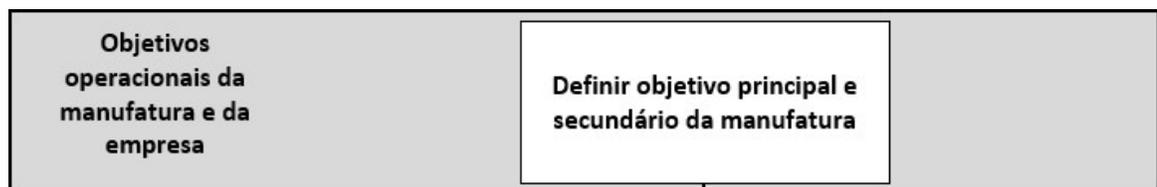


Fonte: Própria.

#### 4.2.1 1ª Etapa do Modelo Finalizado

Na primeira etapa do modelo proposto deve-se definir os objetivos operacionais da manufatura e da empresa, que serão base para as posteriores análises a serem realizadas nas próximas etapas do modelo proposto. A figura 14 apresenta a 1ª etapa do modelo.

Figura 14 – 1ª Etapa para identificar os objetivos operacionais.



Fonte: Própria.

A proposta é que essa etapa seja avaliada e definida em conjunto com a gestão da empresa. É necessário definir dois objetivos operacionais da manufatura e da empresa, sendo um como principal e outro como secundário. É importante que haja consenso na proposta dos envolvidos, pois o sucesso na aplicação do modelo está diretamente relacionado a objetivos bem definidos e realistas que, serão base para as próximas etapas do modelo proposto.

Os objetivos operacionais da manufatura e da empresa servem como base para a posterior definição dos alvos nos quais a empresa irá focar a busca por alcançar os objetivos definidos. Contador (2008) apresenta nove alvos, nos quais a empresa pode canalizar os esforços, que são: produtividade, novidade, qualidade no processo, flexibilidade, acessibilidade, velocidade, desejabilidade, confiabilidade e sustentabilidade socioambiental.

O alvo definido é o elemento no qual a empresa deve canalizar os esforços na busca dos objetivos previamente definidos. Contador (2008) acrescenta que, em determinadas situações, pode ser conveniente definir um alvo coadjuvante que apoie o alvo principal de forma a melhor objetivá-lo.

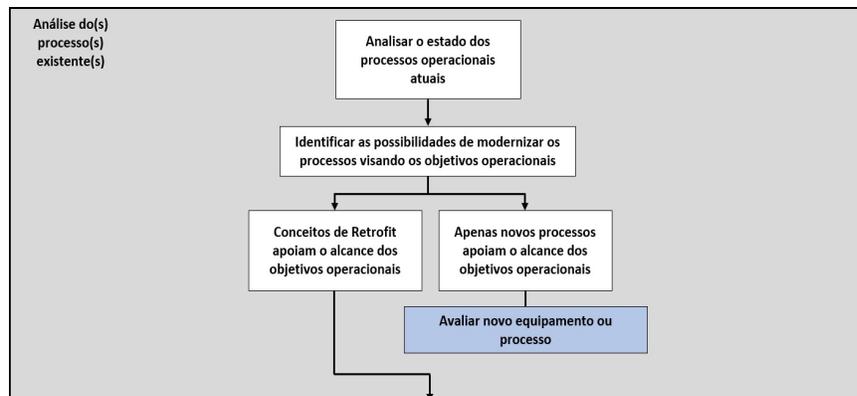
Com os objetivos estratégicos e alvos definidos, está criada a base para as próximas fases do modelo proposto.

#### 4.2.2 2ª Etapa do Modelo Finalizado

A segunda etapa do modelo propõe uma avaliação dos equipamentos e processos existentes assim como novos equipamentos e processos, para que se possa identificar se conceitos da Indústria 4.0 podem ser aplicados para alcançar os objetivos operacionais da empresa e da manufatura, abordados na etapa inicial do modelo.

Caso seja definido que os equipamentos ou processos existentes, não permitem a implementação de conceitos da indústria 4.0 através de realização de *retrofit*, o modelo propõe a avaliação direta da aquisição de novos equipamentos ou processos. A figura 15 apresenta a 2ª etapa do modelo.

Figura 15 – 2ª Etapa para Análise do(s) processo(s) existente(s).



Fonte: Própria.

Cada um dos objetivos operacionais definidos na etapa inicial impacta na decisão sobre o caminho de aquisição de novo equipamento ou o caminho de realizar o *retrofit* no equipamento existente.

Torna-se importante avaliar a etapa com base nos alvos da competição previamente definidos. Nos seguintes tópicos são apresentadas informações adicionais sobre os nove alvos da competição.

#### 4.2.2.1 Alvo produtividade

Por definição, Contador (2008) apresenta que produtividade ou, a capacidade de produzir, é a medida entre os resultados produzidos relacionados aos recursos produtivos a ela aplicados. São apresentados, ao menos, quatro níveis de produtividade sendo: produtividade da atividade, produtividade de uma área da empresa, produtividade da empresa como um todo e produtividade da nação.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja produtividade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode apoiar na produtividade definida como alvo da competição.

#### 4.2.2.2 Alvo novidade

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja novidade, a empresa deve avaliar o que a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode trazer de novidade aos negócios. A inovação, ou seja, a condição daquilo que se apresenta pela primeira vez, pode ser um diferencial para a empresa em relação aos concorrentes.

Contador (2008) acrescenta que a inovação precisa criar valor ao produto - entendendo-se por valor, ampliar o interesse do cliente pelo produto ou reduzir custos relacionados à produção do mesmo, visando maior rentabilidade ou redução no preço do produto.

#### 4.2.2.3 Alvo qualidade no processo

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja qualidade no processo, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit*

de equipamentos e processos existentes, pode aumentar a qualidade nos processos da empresa.

Está inerente em programas de qualidade de processos, tanto processos produtivos quanto processos administrativos, a busca constante por melhoria dos mesmos. No entanto, melhoria na qualidade do processo não necessariamente dará vantagem competitiva à empresa (CONTADOR 2008).

#### 4.2.2.4 Alvo flexibilidade

Slack (2005) define diferentes tipos de flexibilidade no sistema de manufatura. Inicialmente, divide flexibilidade em duas áreas: flexibilidade no fornecimento e flexibilidade no sistema produtivo. Para a flexibilidade no fornecimento, apresenta-se a flexibilidade no processo, flexibilidade operacional, flexibilidade no sistema de fornecimento e flexibilidade no sistema de controle. Para a flexibilidade no sistema produtivo, apresenta-se a flexibilidade no produto, a flexibilidade em fazer combinações entre produtos, flexibilidade em volume de produção e flexibilidade na entrega.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja flexibilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior flexibilidade à empresa, buscando conseqüentemente definir que tipo de flexibilidade está buscando para o negócio.

#### 4.2.2.5 Alvo acessibilidade

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja acessibilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior acessibilidade à empresa, aos produtos ou serviços da mesma, buscando se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

Siegert *et al.* (2020), apresenta que acessibilidade tanto no âmbito de produto, quanto no de processo produtivo tem sido impulsionada por conceitos de indústria 4.0 e sistemas cyber físicos. A inserção de acessibilidade no planejamento estratégico da empresa, além de buscar conformidade com regulamentações vigentes, apoia a empresa, diferenciando-a em relação aos concorrentes.

#### 4.2.2.6 Alvo velocidade

Contador (2008) apresenta o alvo em velocidade de produção relacionando velocidade na entrega de produto e serviço, velocidade no atendimento, velocidade na adaptação do processo produtivo ou no produto. Acrescenta que, a empresa que não possui, por exemplo, velocidade suficiente de produção, poderá precisar de maiores estoques visando atender à demanda de produtos e serviços para seus clientes, conseqüentemente aumentando os custos de armazenamento de sua produção.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja velocidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior velocidade à empresa, aos produtos, serviços e processo produtivo da mesma, buscando se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

#### 4.2.2.7 Alvo desejabilidade

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja desejabilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode permitir maior desejabilidade à empresa, aos produtos e serviços da mesma, buscando se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

A construção de uma marca, produto ou serviço desejável ao cliente é construída através de pesquisa sobre necessidades, preferências, expectativas, divulgação, definição do público em que busca despertar a desejabilidade. Assim, a empresa que tem

como alvo de desejabilidade deve avaliar a aplicação dos conceitos de indústria 4.0, tanto para *retrofit*, quanto para novos equipamentos e processos.

#### 4.2.2.8 Alvo confiabilidade

Contador (2008) apresenta que a empresa pode ser caracterizada como confiável em diversas faces, tais como: confiável em qualidade, confiável em preço, em prazo, em atendimento, em responsabilidade social. É fundamental para o sucesso da empresa ser confiável em todas as faces, o que não é fácil de ser alcançado, mas é factível.

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja confiabilidade, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, pode aumentar a confiabilidade nas faces apresentadas, permitindo à empresa se diferenciar em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

#### 4.2.2.9 Alvo sustentabilidade socioambiental

Caso o alvo de competição definido pela empresa seja sustentabilidade socioambiental, a empresa deve avaliar como a implementação dos conceitos de indústria 4.0, tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto na realização de *retrofit* de equipamentos e processos existentes, permite à empresa focar em melhorias relacionadas à imagem cívica e à imagem preservacionista, ou seja, em responsabilidade social.

Contador (2008) afirma que a empresa que apresenta uma atuação socialmente responsável assegura fidelidade dos clientes, motiva empregados, constrói relações duradouras com fornecedores e gera imagem favorável na sociedade, permitindo assim à empresa diferenciar-se em relação aos concorrentes do mercado em que atua.

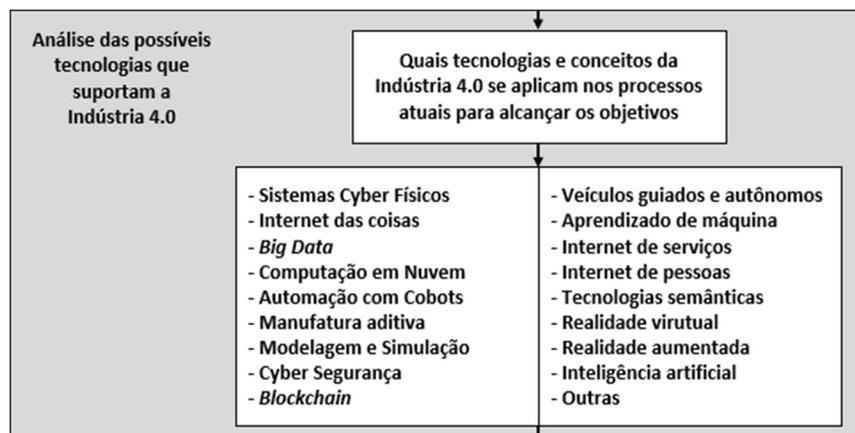
Caso se identifique que a realização de *retrofit* suportados por conceitos da Indústria 4.0 não apoiem o alcance dos objetivos operacionais ou, não se apliquem aos processos ou equipamentos existentes, o modelo propõe que seja avaliada a aquisição de novos equipamentos ou processos. No entanto, sendo possível verificar que conceitos

de *retrofit* suportados por tecnologias da Indústria 4.0 apoiam o alcance dos objetivos operacionais, uma análise detalhada das possíveis tecnologias a serem implementadas deve ser realizada.

#### 4.2.3 3ª Etapa do Modelo Finalizado

A terceira etapa do modelo propõe uma avaliação detalhada e posterior definição dos conceitos tecnológicos presentes na indústria 4.0 que podem, através da realização do *retrofit*, ou da aquisição de novos processos e equipamentos, apoiar no alcance dos objetivos operacionais da empresa ou da manufatura. A figura 16 apresenta a terceira etapa do modelo.

Figura 16 – 3ª Etapa do modelo finalizado.



Fonte: Própria.

Inicialmente deve-se identificar quais são as tecnologias e conceitos da indústria 4.0 que se aplicam aos processos produtivos e da manufatura, para que se alcance os objetivos operacionais estabelecidos na etapa inicial do modelo proposto. Assim, são apresentados 18 áreas e temas de tecnologia que permitem transformar a revolução industrial 4.0 (FERREIRA, *et. al.*, 2022; DILINGER, *et. al.*, 2022). Foi acrescentada a opção “outras”, pois novas tecnologias estão em constante desenvolvimento ou em alguns casos são agrupadas e denominadas de forma diferente.

Faz-se necessário analisar em detalhes o significado de cada uma das 18 tecnologias e suas possíveis tecnologias complementares (FERREIRA, *et. al.*, 2022;

DILINGER, *et. al.*, 2022). Avaliar quais são as características, vantagens e desvantagens da aplicação de cada uma dessas tecnologias, sempre com o intuito de avaliar como cada uma delas pode contribuir com os objetivos operacionais da empresa e da manufatura, estabelecidos na primeira etapa do modelo proposto.

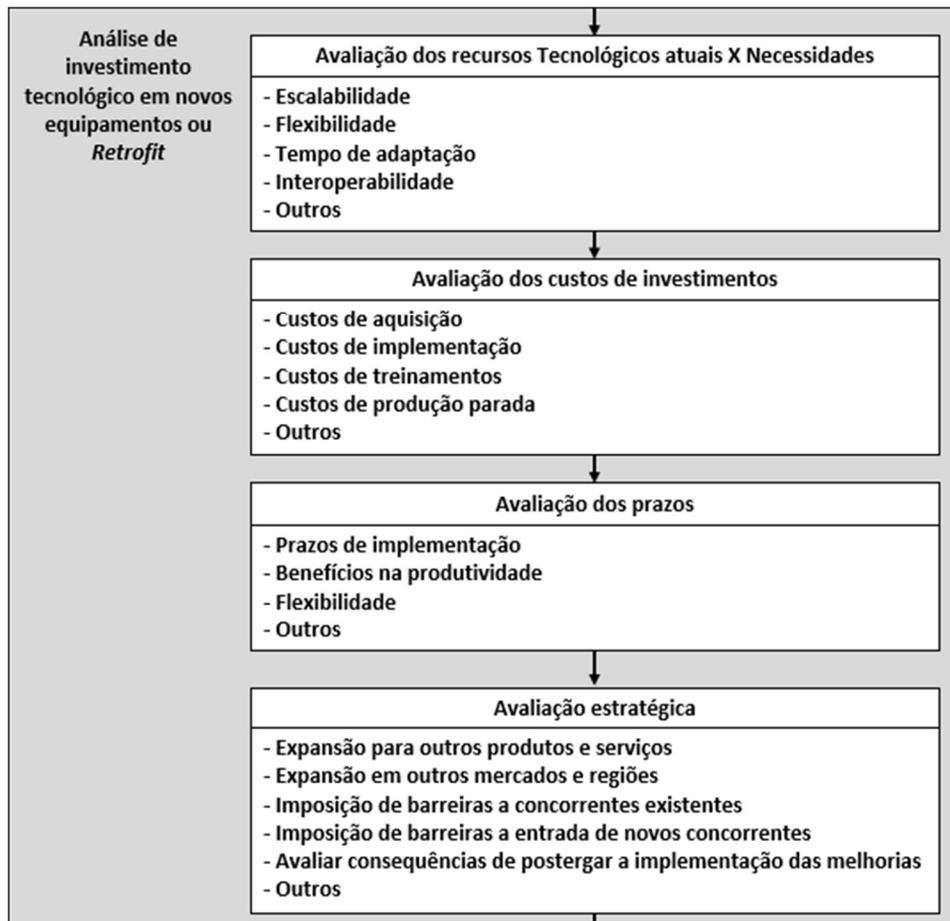
Para a análise das tecnologias, proposta nesta etapa, identifica-se como essencial o suporte de especialistas nas respectivas tecnologias e nos processos operacionais da empresa e da manufatura, para que possam apoiar na identificação dos riscos, vantagens e desvantagens na implementação das mesmas.

Em resumo, após a finalização da terceira etapa do modelo, e com base nos objetivos operacionais da empresa e da manufatura, realizados nas etapas anteriores do modelo, avaliar quais são as tecnologias que suportam o alcance dos objetivos operacionais, suas vantagens e desvantagens, sempre avaliando tanto no âmbito de novos equipamentos e processos como na realização de *retrofit*. Concluindo a terceira etapa com a identificação, em detalhes, das características de cada uma das tecnologias da indústria 4.0.

#### 4.2.4 4ª Etapa do Modelo Finalizado

Para a quarta etapa do modelo, propõe-se uma análise de investimentos em novos equipamentos e processos em comparação com o investimento no *retrofit*, aplicando as tecnologias da indústria 4.0 identificadas. A figura 17 apresenta a quarta etapa do modelo.

Figura 17 – 4ª Etapa do modelo finalizado.



. Fonte: Própria

Para esta etapa é proposta uma avaliação em quatro blocos sendo que, de forma similar às etapas anteriores, para cada um dos blocos deve-se abordar sempre as duas possíveis frentes: aquisição de novos equipamentos e processos ou, realização de *retrofit* dos equipamentos e processos existentes.

Para o bloco um deve ser feita uma avaliação dos recursos tecnológicos atuais versus necessidades, com os seguintes tópicos: escalabilidade, flexibilidade, tempo de adaptação e interoperabilidade.

- Escalabilidade, que permite avaliar qual a capacidade do processo ou equipamento em sustentar uma alteração no volume de produção.
- Flexibilidade, que permite avaliar qual a capacidade do processo ou equipamento em se adaptar a novos ou variações dos produtos e serviços.

- Tempo de adaptação, que permite avaliar quanto tempo o processo precisa para se adaptar às mudanças que estão previstas de acontecerem no processo produtivo.
- Interoperabilidade, que permite identificar quão capaz o processo produtivo ou equipamento será de se comunicar ou integrar com outro sistema, similar ou não. O modelo propõe a opção “outros”, pois novos tópicos relacionados ao recurso tecnológico atual versus as necessidades atuais podem ser necessários para complementar essa comparação.

Para o bloco dois, avaliação dos custos de investimentos, deve-se avaliar os tópicos de custo de aquisição, custos de implementação, custos de treinamentos e custos de produção parada. Lembrando a necessidade de sempre avaliar tanto no âmbito de aquisição de novos equipamentos e processos, quanto no âmbito de realização de *retrofit* dos equipamentos e processos existentes.

- Custos de aquisição, que envolvem não só o investimento do equipamento ou tecnologia, mas também possíveis custos logísticos, de impostos, e de mão de obra para aquisição do novo processo e equipamento ou a realização do *retrofit*.
- Custos de implementação que envolvem instalações, espaços físicos, mão de obra especializada e todos os recursos necessários à tecnologia a ser implementada ou ao novo processo e equipamento.
- Custos de treinamento, pois a partir do momento no qual um novo processo ou equipamento é implementado ou modernizado, possivelmente haverá necessidade de treinamento da mão de obra que deverá atuar direta ou indiretamente no processo.
- Custos de produção parada porque, tanto para novos processos e equipamentos quanto para modernização de processos existentes, pode ser necessário parar o recurso atual. Importante acrescentar que o investimento na parada desse recurso existente pode adicionar custos tanto de mão de obra quanto de implicações diretas com entregas do produto por mudanças de prazos.

O modelo propõe a opção “outros”, pois novos tópicos relacionados a custos de investimentos podem ser necessários para complementar essa comparação.

Para o bloco três, avaliação dos prazos, deve-se abordar tanto para as opções de novos equipamentos quanto para *retrofit*, os tópicos de prazo de implementação, benefícios na produtividade e flexibilidade.

- Prazo de implementação que está relacionado ao tempo necessário para implementação, sendo necessário estar alinhado aos prazos dos objetivos operacionais e da manufatura.
- Benefícios na produtividade que, uma vez implementado o novo processo e equipamentos ou, o processo atual após *retrofit* pode permitir mudanças nos índices de produtividade e uma análise nesse tópico com base nos objetivos operacionais da empresa torna-se importante para o modelo.
- Flexibilidade que, dependendo do prazo na implementação de novo equipamento ou processo ou, na modernização do processo atual pode permitir que o mesmo seja flexível em prazo relacionado ao esperado para alcançar os objetivos operacionais. O modelo propõe a opção “outros”, pois novos tópicos relacionados a prazos e benefícios podem ser necessários para complementar essa comparação.

Por fim, para o bloco quatro, avaliação estratégica – que, de forma similar deve-se abordar tanto para as opções de novo equipamento, quanto para *retrofit* - os tópicos de expansão para outros produtos e serviços, expansão para outros mercados e regiões, imposição de barreiras a concorrentes existentes e imposição de barreiras a entrada de novos concorrentes.

- Expansão para outros produtos e serviços deve ser avaliada tanto para o novo equipamento quanto para o caso de realização de *retrofit* nos equipamentos existentes, não só avaliando a necessidade atual, mas também as decisões estratégicas definidas da empresa.
- Expansão para outros mercados e regiões deve ser avaliada, de forma similar, não só para a necessidade atual, mas com base na estratégia operacional da empresa.
- Imposição de barreiras a concorrentes existentes e a entrada de novos concorrentes, envolve avaliar quando um novo processo e equipamento ou, a

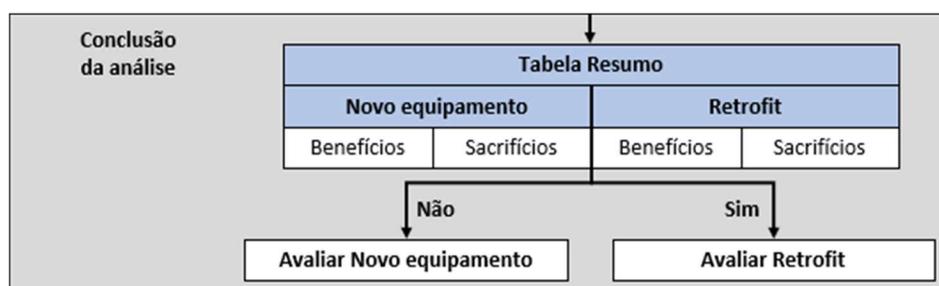
reforma do existente pode estar interligada à estratégia da empresa em impor barreiras à concorrência atual e possíveis novos concorrentes.

Para o bloco quatro de avaliação estratégica propõe-se uma análise sobre imposição de barreiras a concorrentes existentes e possíveis novos concorrentes, que poderão se configurar em ameaças, tanto em produtos quanto em serviços. O modelo propõe a opção “outros “, pois, novos tópicos relacionados à estratégia podem ser necessários para complementar essa comparação.

#### 4.2.5 5ª Etapa do Modelo Finalizado

Para a quinta e última etapa do modelo, propõe-se que seja feita uma tabela resumo contendo, nas colunas, os benefícios e sacrifícios de implementação de conceitos de indústria 4.0 em novos equipamentos e processos ou, a realização de *retrofit* nos equipamentos e processos existentes. Nas linhas da tabela, inserir todos os fatores analisados na quarta etapa do modelo proposto para que no final, a tabela apresente, de forma resumida, uma comparação de resultados sobre aquisição de novos equipamentos ou retrofit, com características de vantagens e desvantagens para cada um dos tópicos. A figura 18, apresenta a quinta etapa do modelo.

Figura 18 – 5ª Etapa do modelo finalizado.



Fonte: Própria.

A proposta da tabela na 5ª etapa é apoiar a tomada de decisão sobre a aquisição de novos processos e equipamentos ou, *retrofit*. Para desenvolvimento da mesma, os conceitos de benefícios e sacrifícios devem ser aplicados (CONTADOR 2008).

Na visão do cliente, benefício de um produto é o conjunto de utilidades, proveitos e vantagens materiais ou psicológicas de um produto e, sacrifício é o conjunto de dispêndios monetários e psicológicos necessários ao desfrute do produto e inclui, além do preço, as despesas monetárias de procura, avaliação, utilização e descarte e os dispêndios psicológicos, como angústia, temor e/ou aborrecimento (CONTADOR *et al.*, 2008).

No entanto, torna-se igualmente importante à avaliação com base no cliente, a avaliação com base na estratégia operacional da empresa e da manufatura, conforme definido na primeira etapa do modelo.

Deve-se aplicar na tabela resumo, nas respectivas colunas, os benefícios e sacrifícios tanto para um novo equipamento, quanto para a realização de *Retrofit*.

### 4.3 DISCUSSÕES

O conteúdo pesquisado e presente no referencial teórico deste trabalho, permitiu o desenvolvimento do projeto e do modelo proposto, posteriormente apresentado.

As oportunidades e desafios para a implementação dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 apresentados por Becue *et al.* (2021), Wankhede *et al.* (2021) e Gruzauskas *et al.* (2018) foram referendados em trabalho de campo.

As classificações de Sacomano *et al.* (2018) e de Ribeiro *et al.* (2020), para as tecnologias utilizadas na implementação dos conceitos de Indústria 4.0, foram confirmadas pelos especialistas, dando suporte para a etapa do modelo, a qual exige uma avaliação e entendimento das tecnologias aplicadas em busca dos conceitos da indústria 4.0. Adicionalmente, as tecnologias propostas apresentadas por Sacomano *et al.* (2018) em relação às da indústria 4.0, no que tangem a estarem sempre em desenvolvimento e evolução, permitem que o modelo esteja preparado para inovações.

O conteúdo apresentado por Zambetti *et al.* (2020), Garcia *et al.* (2020) e Panda *et al.* (2020) relacionado a conceitos e modelos de modernização (*Retrofit*) foi referendado em campo, por se apresentar como base para entendimento de modelos ou reformas na busca por modernização de processos.

A apresentação das definições sobre objetivos operacionais da manufatura e da empresa, conforme parte do modelo de Contador (2008), deu significativo suporte às etapas relacionadas aos objetivos operacionais da manufatura e da empresa que, mostrando-se adequada em campo, serviu como base para todas as etapas do modelo final.

Os resultados apresentados para cada uma das etapas avaliadas pelos especialistas, apresentaram-se em concordância com os seus objetivos, alinhando-se com a proposta de cada uma delas. De forma similar, os resultados demonstram que os especialistas concordaram que o descritivo e material de apoio para as etapas apoiam a realização das mesmas, sendo essencial para seu melhor entendimento, em detalhes.

Além das questões objetivas, os especialistas puderam apresentar sugestões ou crítica, tanto em relação às etapas do modelo, como aos objetivos ou descritivo de apoio para as respectivas etapas. No entanto, os resultados apresentam que nenhuma

sugestão de alteração no modelo foi proposta; apenas, algumas alterações relacionadas ao descritivo com o objetivo de apoiar, com maiores detalhes, a realização das etapas.

Com base nos resultados e sugestões apresentadas pelos entrevistados, considerou-se o modelo aprovado por unanimidade, já na primeira rodada do Método DELPHI, sendo que, apenas parte do descritivo precisou passar por melhorias, que foram implementadas no mesmo.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi propor um modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos de indústria 4.0 como auxiliar na tomada de decisão sobre aquisição de novos equipamentos ou a modernização dos existentes (*Retrofit*). Para tal, buscou-se identificar conceitos de indústria 4.0 e modelos que suportassem a tomada de decisão sobre modernização de processos (*Retrofit*) assim como fatores que pudessem ponderar essa decisão. Em seguida, foi proposto um modelo teórico de análise de investimento e apresentado este modelo a especialistas aplicando o método DELPHI, concluindo-se o trabalho com um modelo final aperfeiçoado.

São inúmeras as oportunidades identificadas na literatura sobre a utilização de conceitos da indústria 4.0 para as empresas, no entanto de forma semelhante, são as barreiras na implementação desses conceitos. Frente a esses desafios, torna-se importante um modelo que apoie as empresas em uma análise de investimento sobre implementar conceitos de indústria 4.0 com novos equipamentos e processos, ou modernizar os processos e equipamentos existentes.

Como contribuição teórica foi desenvolvido um modelo que permite analisar, através de etapas, todo o processo decisório. Confirmado pela pesquisa realizada nas bases de dados científicas, este modelo apresenta-se como sendo o primeiro trabalho nessa linha de pesquisa, portanto passível de aprimoramento. Após ser desenvolvido, o modelo foi apresentado a especialistas utilizando-se do método DELPHI, objetivando seu aprimoramento.

Após aplicação do método DELPHI e com os resultados obtidos, considerou-se o modelo aprovado por unanimidade já na primeira rodada do método; sendo sugeridas alterações, apenas, nos descritivos do modelo proposto, que foram acatadas para apresentação do modelo final.

Considerando os resultados das pesquisas com os especialistas, entende-se que o objetivo, o descritivo e o formato do modelo proposto, assim como as respectivas etapas nas quais o mesmo foi dividido, atenderam os objetivos do modelo e conseqüentemente o objetivo geral deste trabalho, apoiando a gestão na tomada de decisão sobre o investimento tecnológico.

A contribuição prática deste trabalho foi apresentar um modelo que possa guiar executivos, empreendedores, engenheiros, e todos os demais envolvidos no processo decisório sobre a análise de investimento para modernização (*retrofit*) ou compra de um novo equipamento com objetivo de implementação de conceitos da indústria 4.0.

Como limitações, tem-se que o modelo de análise de investimento foi validado por profissionais de uma região geográfica e segmento industrial específicos, bem como não foi possível a validação do modelo na prática.

Como sugestão de trabalhos futuros, tem-se a de validar o modelo por profissionais de outras regiões, países e segmentos industriais, possibilitando expandir a base para análises comparativas sobre a aplicação do modelo de análise de investimento, bem como utilizá-lo na prática para testar seu potencial.

## REFERÊNCIAS

ADA, N., LLIC, D., SAGNAK, M., A Framework for New Workforce Skills in the Era of Industry 4.0. **International Journal of Mathematical, Engineering and Management Science**, v. 6, p. 111 – 186, (2021).

ANDREOLLI, F., BRAGOLUSI, P., D'ALPAOS, C., FALESCHINI, F., ZANINI, M.A., An AHP model for multiple-criteria prioritization of seismic retrofit solutions in gravity-designed industrial buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 45, (2022).

AVELLA, J. R., Delphi Panels: Research Design, Procedures, Advantages, and Challenges. **International Journal of Doctoral Studies**, 11, 305-321, (2016).

AZARIAN, M., YU, H., SOLVANG, W. D., **A Simulation-Based Approach for Improving the Performance of a Manufacturing System**. IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), (2021).

BECUE, A., PRAÇA, I., GAMA, J., **Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: challenges and opportunities**. Artificial Intelligence, Review 54, p. 3849 – 3886, (2021).

BENJAMIN, M., NÉSTOR, F. A., JOANA, M., ALEJANDRO, G. F., **The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives**. Technological Forecasting and Social Change, v. 168, (2021).

BIRKEL, H. S., VEILE, J. W., MÜLLER, J. M., HARTMANN, E., & VOIGT, K.-I. **Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers**. Sustainability (Switzerland), v. 11(2), p. 384, (2019).

BURRESI, G., ERMINI, S., BERNABINI, D., LORUSSO, M., GELLI, F., FRUSTACE, D., RIZZO, A., **Smart Retrofitting by Design Thinking Applied to an Industry 4.0**

**Migration Process in a Steel Mill Plant.** 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing, (2020).

CHIAVENATO, I., **Gestão da produção: uma abordagem introdutória.** 3.ed., Barueri: Manole, 2014.

CHUN, H., A Study on the Utilization of Drone Education in the Fourth Industrial Revolution. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1875, (2021).

CONTADOR, J. C., **Campos e armas da competição.** São Paulo, 2008.

CONTADOR, J. C., SATYRO, W. C., CONTADOR, J. L., SPINOLA, M. D. M., Flexibility in the Brazilian Industry 4.0: Challenges and Opportunities. **Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 21, p. 15 – 31, (2020).

CONTADOR, J.C., SATYRO, W.C., CONTADOR, J.L., SPINOLA, M. D. M., Taxonomy of organizational alignment: implications for data-driven sustainable performance of firms and supply chains. **Journal of Enterprise Information Management**, Vol. 34 No. 1, pp. 343-364, 2021.

D'ANGELO, L., HAJDUKIEWICZ, M., SERI, F., KEANE, M.M., A novel BIM-based process workflow for building retrofit. **Journal of Building Engineering**, v. 50, (2022).

D'EMILIA, G., GASPARI, A., NATALE, E., ADDUCE, G., VECCHIARELLI, S., **All-Around Approach for Reliability of Measurement Data in the Industry 4.0.** IEEE Instrumentation and Measurement Magazine, v. 24, p. 30 – 37, (2021).

DILINGER, F., BERNHARD, O, KAGERER, M., REINHART, G., **Industry 4.0 implementation sequence for manufacturing companies.** Production Engineering v. 16, p. 705 – 718, (2022).

EVTODIEVA, T. E., CHERNOVA, D. V., IVANOVA, N. V., WIRTH, J., **The Internet of Things: Possibilities of Application in Intelligent Supply Chain Management**. Digital Transformation of the Economy: Challenges, Trends and New Opportunities, p. 395 – 403, (2019).

FAROOQ, M.U., EIZAD, A., BAE, H.-K., **Power solutions for autonomous mobile robots: A survey**. Robotics and Autonomous Systems v. 159, (2022).

FEIGENBAUM, A.V., **Total quality control: engineering and management**. New York: McGraw-Hill, 1961.

FERREIRA, W. P., ARMELLINI, F., EULALIA, L. A. S., LAPERRIÈRE, V. T., A framework for identifying and analysing industry 4.0 scenarios. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 65, p. 192-207, (2022).

FERNANDES, A. N. M., BARROS, M. A. C., HAMATSU, N. K., **Tendência das tecnologias 4.0 no Brasil – o que nos diz a demanda sobre a Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT Subvenção Econômica à Inovação 04/2020?** Revista Ciências Agrônômicas – Agricultura especial 4.0, v. 51, (2020).

GARCIA, J., CANO, R. E., CONTRERAS, J. D., Digital retrofit: A first step toward the adoption of Industry 4.0 to the manufacturing systems of small and medium-sized enterprises. **Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 234, p. 1156 – 1169, (2020).

GEISSBAUER, R., VEDSO, J., SCHRAUF, S. **Industry 4.0: Building the digital enterprise**. PwC: Germany Price and Whiterhouse Coopers. Global Industry 4.0 Survey, p. 36, (2016).

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C., **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRUZAUSKAS, V., BASKUTIS, S., NAVICKAS, V., Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 709 – 717, (2018).

HABIBI, A., SARAFRAZI, A., Delphi Technique Theoretical Framework in Qualitative. **International Journal of Engineering Science** 3(4), 8 – 13, (2014).

HALLOWELL, M., GAMBATESE, J. A., Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research. **Journal of Construction Engineering and Management** 136(1), (2010)

HORVÁTH, D., SZABÓ, R., **Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities**. Technological Forecasting and Social Change, v. 146, p. 119 – 132, (2019).

HYERS, D., **Big data-driven decision-making processes, industry 4.0 wireless networks, and digitized mass production in cyber-physical system-based smart factories**. Economics, Management, and Financial Markets, v. 15, p. 19 – 28, (2020).

ILG, J.; OEHLER, A.; LUCKE, D. A suitability analysis method for additive manufacturing technologies in small and medium-sized companies. **Procedia CIRP**, v. 81, p. 612-627, 2019.

IQBAL, A.; ZHAO, G.; SUHAIMI, H.; HE, N.; HUSSAIN, G.; ZHAO, W. Readiness of subtractive and additive manufacturing and their sustainable amalgamation from the perspective of Industry 4.0: a comprehensive review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 111, n. 9, p. 2475-2498, 2020.

KAGERMANN, H., ANDERL, R., GAUSEMEIER, J., SCHUH, G., WAHLSTER, W. **Industrie 4.0 in a Global Context - Strategies for Cooperating with International Partners**. ACATECH STUDY Executive Summary and Recommendations, (2016).

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Final report of the Industrie 4.0 Working Group, (2013).

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARANB, A.; SHARMAC, R., **Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing /industry**. Computer in Industry, v. 101, p. 107-119, (2018).

KHAN, F., KUMAR, R.L., KADRY, S., NAM, Y., The future of software engineering: Visions of 2025 and beyond. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, v. 11, p. 3443 – 3450, (2021).

KIPPER L. M., LEPSSEN, S., DAL FORNO, A. J., FROZZA, R., FURSTENAU, L., AGNES, J., COSSUL, D., Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. **Technology in Society Journal**. v. 64, (2021).

KOLLA, S. S. V. K., LOURENÇO, D.M., KUMAR, A.A., PLAPPER, P.. **Retrofitting of legacy machines in the context of Industrial Internet of Things (IoT)**. Procedia Computer Science 200, p. 62-70, (2022).

KOUSAY S., KHABBAZI, M. R., MAFFEI, A., ONORI, M. A., **Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems**. 51<sup>st</sup> CIRP Conference on Manufacturing Systems, v. 72, v. 200, p. 498-502, (2021).

LINS, T., CORREIA, L. H. A., SILVA, J. S., **Industry 4.0 Retrofitting**. Conference: 2018 VIII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC) (2018).

LINS, T., OLIVEIRA, R.A.R., **Cyber-physical production systems retrofitting in context of industry 4.0**. Computers and Industrial Engineering, v. 139, (2020).

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. 5. Impressão. São Paulo: Atlas, 2007.

LONG, F., ZEILER, P. BERTSCHE, B., **Modelling the flexibility of production systems in Industry 4.0 for analyzing productivity and availability with high-level Petri nets**. IFAC-PapersOnLine, v. 50, p. 5680 – 5687, (2017).

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K., **Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies**. Process Safety and Environmental Protection, p. 117, 168 – 179, (2018).

MENDOZA P., M.A., CUELLAR, S., **Industry 4.0: Latin America SMEs Challenges**. 2020 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria (CONIITI), (2020).

MILIĆ, S.D., ĐUROVIĆ, Ž., STOJANOVIĆ, M.D., **Data science and machine learning in the IIoT concepts of power plants**. International Journal of Electrical Power and Energy Systems v. 145, (2022).

NAJAFABADI, M. M., VILLANUSTRE, F., KHOSHGOFTAAR, T. M., SELIYA, N., WALD, R., MUHAREMAGIC, E., **Deep learning applications and challenges in big data analytics**. **Journal of Big Data**. v. 2, 2015.

NASCIMENTO, J. R., Engenharia de produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE. Aplicações dos conceitos e tecnologias da indústria 4.0 no transporte rodoviário de cargas no Brasil. 2022. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção).

ONGPENG, J.M.C., RABE, B.I.B., RAZON, L.F., AVISO, K.B., TAN, R.R., **A multi-criterion decision analysis framework for sustainable energy retrofit in buildings.** Energy, v. 239 - D, (2022).

PANDA, S. K., WISNIEWSKI, L., EHRLICH, M., MAJUMDER, M., JASPERNEITE, J., **Plug Play Retrofitting Approach for Data Integration to the Cloud.** IEEE International Workshop on Factory Communication Systems - Proceedings (WFCS), (2020).

PATTON, M. Q. **Qualitative research and evaluation methods.** 2. ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2002.

PLATTFORM-I40.DE., **The background to Plattform Industrie 4.0.** Disponível em: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Standardartikel/specification-administrationshell.html>. Acesso em: 25 Jul. 2021.

PRODANOV, C. C., FREITAS, E. C., **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA E DO TRABALHO ACADÊMICO.** Universidade FEEVALE, 2ª Edição, (2013).

RIBEIRO, L. F., GOMES, R., **Industry 4.0 concepts and technologies: a bibliometric analysis.** Revista Brasileira de Inovação. V. 19, (2020).

SACOMANO, J. B., GONÇALVES, R. F., SILVA, M. T., BONILLA, S. H., SÁTYRO, W. C. **Indústria 4.0 Conceitos e fundamentos.** São Paulo: Blucher, 2018.

SACHDEVA, P., DILEEP KUMAR, M., **Machine Learning Approaches in Smart Cities.** Lecture Notes in Networks and Systems v.471, p. 125-135, (2022).

SAMPIERI, R. H., COLLADO, C. F., LUCIO, M. D. P. B., **Metodologia de pesquisa.** 5ª Edição, (2013).

SANDERS, A., ELANGESWARAN, C., WULFSBERG, J. Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management - JIEM**, v. 9, p. 811 - 813, (2016).

SHARMA, R., VILLÁNYI, B., **Evaluation of corporate requirements for smart manufacturing systems using predictive analytics**. Internet of Things (Netherlands), v. 19, (2022).

SCHEUERMANN, C., VERCLAS, S., BRUEGGE, S, **Agile Factory=An Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process**. IEEE 3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, Network, and Applications (2015).

SCHONBERGER, R.J., **Técnicas industriais japonesas**. São Paulo: Pioneira, 1984.

SEMERARO, C., LEZOUCHE, M., PANETTO, H., DASSISTI, M., **Digital twin paradigm: A systematic literature review**. Computers in Industry, v. 130, (2021).

SIEGERT, J., ZARCO, L., SCHLEGEL, T. **Universal accessibility concept for controlling production means in manufacturing systems**. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, p. 349-354 (2020).

Siemens Financial Services (SFS). **Practical pathways to industry 4.0: The obstacles to digital transformation and how manufacturers can overcome them**. p. 1–11 . Munich: Siemens AG (2018).

SLACK, N., The flexibility of manufacturing systems. **International Journal of Operations and Production Management**. v. 25(12), p. 1190-1200, (2005).

STRUPCZEWSKI, G. **Defining cyber risk**. Safety Science, v. 135, (2021).

VARELA, J.A.E., OCHOA-ZEZZATTI, A., CASTELLANOS, H.G., **Implementation of an Intelligent Framework for the Analysis of Body Movements Through an Avatar Adapted to the Context of Industry 4.0 for the Recruitment of Personnel.** Technological and Industrial Applications Associated With industry 4.0, p. 195 – 214, (2021).

VERMA, A., BHATTACHARYA, P., MADHANI, N., BOKORO, P.N., SHARMA, R. **Blockchain for Industry 5.0: Vision, Opportunities, Key Enablers, and Future Directions.** IEEE Access v. 10, p. 69160-69199, (2022).

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Introdução a manufatura aditiva ou impressão 3D.** In: VOLPATO, N. (Coord). Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017.

WANG, Y., QU, K., CHEN, X., GAN, G., RIFFAT, S., **An innovative retrofit Motivation-Objective-Criteria (MOC) approach integrating homeowners' engagement to unlocking low-energy retrofit in residential buildings.** Energy and Buildings, v. 259, (2022).

WANKHEDE, V. A.; VINODH, S., **Analysis of industry 4.0 challenges using best worst method: A case study.** Computer & Industrial Engineering, v. 159, (2021).

YILDIZ, E., MOLLER, C., BILBERG, A., Demonstration and evaluation of a digital twin-based virtual factory. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 185 – 203, (2021).

YSKA, S., BUSTOS, D., GUEDES, J.C., **Machine Learning Applications for Continuous Improvement in Integrated Management Systems: A Short Review.** Studies in Systems, Decision and Control v. 449, p. 541 – 551 (2022)

YUAN, M., ALGHASSI, A., ZHAO, S. F., WU, S. W., MUHAMMAD, A., CUI, J., MYO, K. S., **Online Overall Equipment Effectiveness (OEE) Improvement Using Data Analytics Techniques for CNC Machines.** Intelligent Systems Reference Library, v. 202, p. 201 – 228, (2021).

Yue, L., Fan, H., Dynamic Scheduling and Path Planning of Automated Guided Vehicles in Automatic Container Terminal. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, p. 2005-2019 (2022).

ZAMBETTI, M. KHAN, M. A., PINTO, R., WUEST, T., **Enabling servitization by retrofitting legacy equipment for Industry 4.0 applications: benefits and barriers for OEMs.** Procedia Manufacturing, v. 48, p. 1047 – 1053, (2020).

ZEBA, G., DABIC, M., CIOK, M., DAIM, T. YALCIN, H., **Technology mining: Artificial intelligence in manufacturing.** Technological Forecasting and Social Change, v. 171, (2021).

ZÊDO, Y.A., RAMOS, A.L.F.A.. Simulation for Decision Support in Process Reengineering in the Automotive Industry. **International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences** 7(2), pp. 176-195 (2022).

## APÊNDICE I – E-MAIL CONVITE PARA PARTICIPAR DA PESQUISA

Prezado(a) Sr(a). (NOME DO ENTREVISTADO),

Conforme prévio contato, agradeço sua atenção, gentileza e aceitação em participar desta pesquisa de campo relacionada ao meu mestrado. Faço parte da equipe de pesquisadores do Programa Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho (PPGEP/UNINOVE), atuando na área de Gestão da Tecnologia e Inovação (GTI). Dentro desta área de pesquisa são abordados diferentes temas da Engenharia de Produção relacionados à gestão de sistemas produtivos e operações, incluindo aqueles apoiados por tecnologias da Indústria 4.0.

Estou realizando uma pesquisa de campo em conjunto com meu orientador, Prof. Dr. Walter Sátyro. O tema aborda a proposta de um modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos da indústria 4.0: investir em novos equipamentos ou *retrofit*?

Por essa razão, gostaríamos de convidá-lo a participar de uma entrevista em modo online (com uma ferramenta de videoconferência) sobre esse tema, e assim poder contar com sua experiência para minha pesquisa. Na entrevista apresentaremos o tema e o modelo proposto.

Marcaremos a reunião com base na sua disponibilidade. Neste sentido, solicitamos uma data que seja mais conveniente em sua agenda.

Comprometemo-nos a preservar o sigilo dos participantes, assim como solicitamos que as informações da pesquisa não sejam divulgadas antes da finalização da mesma. Desde já agradecemos a colaboração.

## APÊNDICE II – 1ª FASE DELPHI – AVALIAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

### Pesquisa para curso de Mestrado em Engenharia de Produção

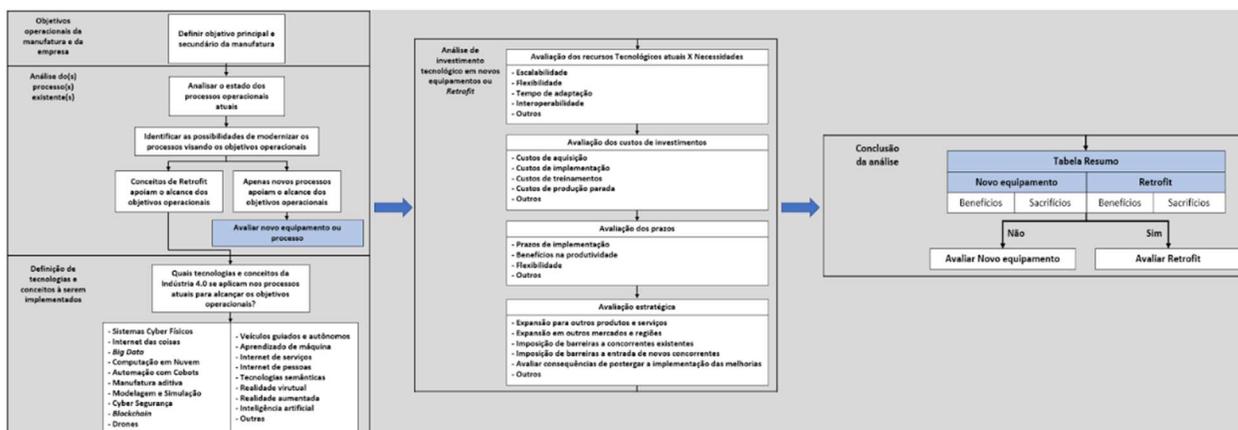
Este formulário visa coletar opiniões sobre um modelo desenvolvido para o curso de mestrado em Engenharia de Produção. Nosso objetivo é coletar a sua opinião sincera, não havendo respostas certas nem erradas. Garante-se total sigilo das informações aqui prestadas, pois o objetivo é o entendimento da opinião de todos os entrevistados. Por questões éticas, sua identidade será mantida em sigilo assim como todas as informações aqui prestadas. Sua opinião contribuirá para o conhecimento sobre a indústria 4.0 no Brasil. Desde já agradeço.

Qual a sua formação? (Graduação e/ou Pós-graduação)

Qual função exerce atualmente?

Quantos anos tem de profissão?

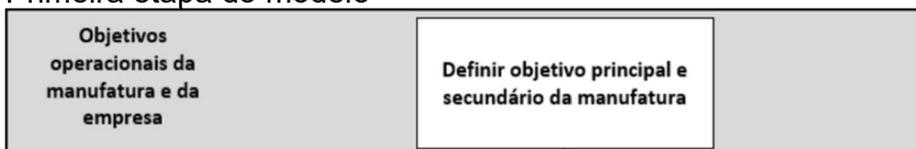
### Apresentação do modelo completo



### Título da primeira etapa do modelo

Objetivos operacionais da manufatura e da empresa.

### Primeira etapa do modelo



### Objetivo da primeira etapa:

Definir os objetivos operacionais da manufatura e da empresa.

	Discordo totalmente	Discordo	Não sei	Concordo	Concordo plenamente
<b>Objetivo da primeira etapa:</b> Definir os objetivos operacionais da manufatura e da empresa.					
Os objetivos da etapa estão claros					
O descritivo desta etapa apoia o entendimento da mesma					

**Sugestões:**

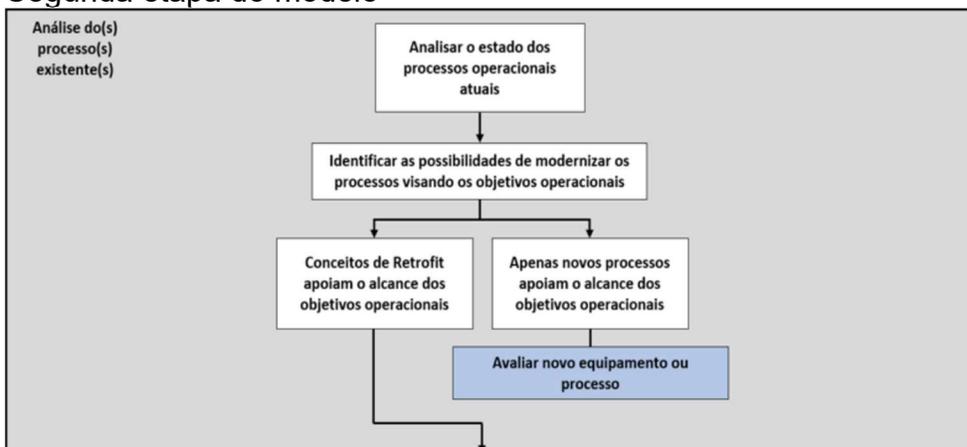
Você sugere alguma alteração nos objetivos da primeira etapa do modelo?

**Sugestões:**

Você sugere alguma alteração no conteúdo de apoio para a primeira etapa do modelo?

**Título da segunda etapa do modelo**

Análise do(s) processo(s) existente(s).

**Segunda etapa do modelo****Objetivo da segunda etapa:**

Avaliar os equipamentos e processos existentes assim como novos equipamentos e processos, para identificar se conceitos da Indústria 4.0, podem ser aplicados para alcançar os objetivos operacionais da empresa e da manufatura.

<p><b>Objetivo da segunda etapa:</b> Avaliar os equipamentos e processos existentes assim como novos equipamentos e processos, para identificar se conceitos da Indústria 4.0, podem ser aplicados para alcançar os objetivos operacionais da empresa e da manufatura.</p>	Discordo totalmente	Discordo	Não sei	Concordo	Concordo plenamente
	Os objetivos da etapa estão claros				
	O descritivo desta etapa apoia o entendimento da mesma				

### Sugestões:

Você sugere alguma alteração nos objetivos da segunda etapa do modelo?

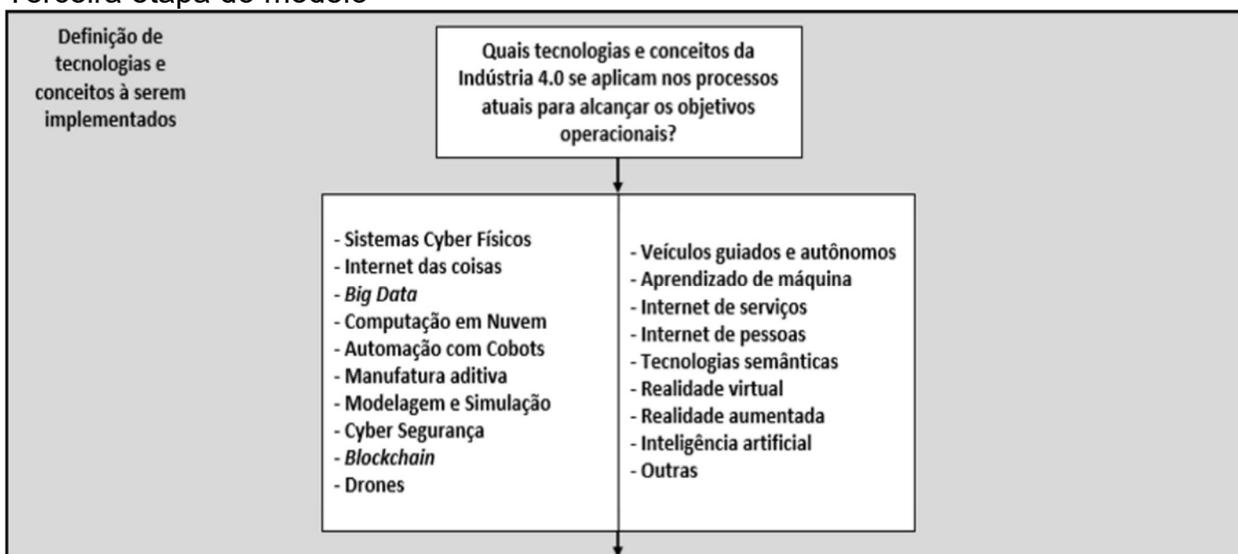
### Sugestões:

Você sugere alguma alteração no conteúdo de apoio para a segunda etapa do modelo?

### Título da terceira etapa do modelo

Definição de tecnologias e conceitos a serem implementados.

### Terceira etapa do modelo



### Objetivo da terceira etapa:

Avaliar e identificar os conceitos tecnológicos presentes na indústria 4.0 que podem, através da realização do retrofit ou da aquisição de novos processos e/ou equipamentos, apoiar no alcance dos objetivos operacionais da empresa ou da manufatura.

<p><b>Objetivo da terceira etapa:</b> Avaliar e identificar os conceitos tecnológicos presentes na indústria 4.0 que podem, através da realização do retrofit ou da aquisição de novos processos e/ou equipamentos, apoiar no alcance dos objetivos operacionais da empresa ou da manufatura.</p>	Discordo totalmente	Discordo	Não sei	Concordo	Concordo plenamente
Os objetivos da etapa estão claros					
O descritivo desta etapa apoia o entendimento da mesma					

### Sugestões:

Você sugere alguma alteração nos objetivos da terceira etapa do modelo?

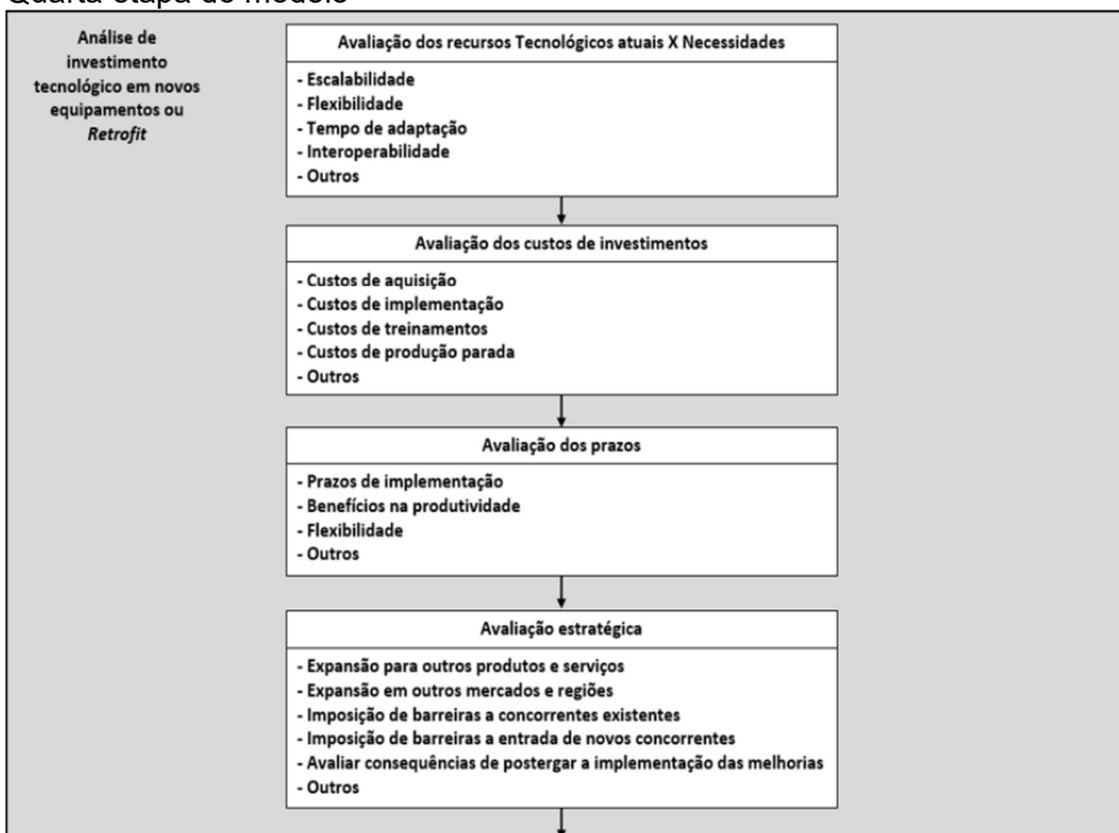
### Sugestões:

Você sugere alguma alteração no conteúdo de apoio para a terceira etapa do modelo?

### Título da quarta etapa do modelo

Análise de investimento tecnológico em novos equipamentos ou *retrofit*.

### Quarta etapa do modelo



**Objetivo da quarta etapa:**

Avaliação de recursos tecnológicos atuais versus necessidades.

Avaliação dos custos de investimentos.

Avaliação dos prazos.

Avaliação estratégica.

<b>Objetivo da quarta etapa:</b> Avaliação de recursos tecnológicos atuais versus necessidades. Avaliação dos custos de investimentos. Avaliação dos prazos. Avaliação estratégica.	Discordo totalmente	Discordo	Não sei	Concordo	Concordo plenamente
Os objetivos da etapa estão claros					
O descritivo desta etapa apoia o entendimento da mesma					

**Sugestões:**

Você sugere alguma alteração nos objetivos da quarta etapa do modelo?

**Sugestões:**

Você sugere alguma alteração no conteúdo de apoio para a quarta etapa do modelo?

**Título da quinta etapa do modelo**

Etapa para conclusão da análise.

## Quinta etapa do modelo

**Objetivo da quinta etapa:**

Criar uma tabela resumo que apoie a decisão sobre a aquisição de novos processos e equipamentos ou, realização de *retrofit* dos processos e equipamentos existentes.

	Discordo totalmente	Discordo	Não sei	Concordo	Concordo plenamente
<b>Objetivo da quinta etapa:</b> Criar uma tabela resumo que apoie a decisão sobre a aquisição de novos processos e equipamentos ou, realização de <i>retrofit</i> dos processos e equipamentos existentes.					
Os objetivos da etapa estão claros					
O descritivo desta etapa apoia o entendimento da mesma					

**Sugestões:**

Você sugere alguma alteração nos objetivos da quinta etapa do modelo?

**Sugestões:**

Você sugere alguma alteração no conteúdo de apoio para a quinta etapa do modelo?

**Questão:**

Você concorda sobre o modelo, atender o objetivo principal do mesmo que seria: Ser um modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos da indústria 4.0 que auxilie a gestão na tomada de decisão sobre aquisição de novos equipamentos ou realização de *retrofit* nos equipamentos e processos existentes?