

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FLÁVIO GUERHARDT

PROPOSTA DE *FRAMEWORK* PARA ADOÇÃO DE *IoT* NO GERENCIAMENTO DE
UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS

São Paulo
2019

FLÁVIO GUERHARDT

PROPOSTA DE *FRAMEWORK* PARA ADOÇÃO DE *IoT* NO GERENCIAMENTO DE
UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS

Tese apresentada ao programa de doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Profa. Dra. Rosangela Maria Vanalle - Orientadora

São Paulo

2019

Guerhardt, Flávio.

Proposta de Framework para adoção de IoT no Gerenciamento de uma Cadeia de Suprimentos da Indústria de Autopeças. / Flávio Guerhardt. 2019.

150 f.

Tese (doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2019.

Orientador (a): Prof^ª. Dr^ª. Rosangela Maria Vanalle.

1. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS). 2. Framework. 3. Internet das Coisas (IoT). 4. Autopeças. 5. Delphi.

I. Vanalle, Rosangela Maria. II. Título

CDU 658.5

TERMO DE APROVAÇÃO



PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

DE

Flavio Guerhardt

Título da Tese: Proposta de Framework para Adoção de lot no Gerenciamento de uma Cadeia de Suprimentos da Indústria de Autopeças.

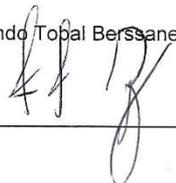
A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Flavio Guerhardt Aprovado

São Paulo, 05 de novembro de 2019.

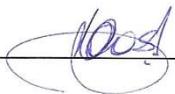
Prof(a). Dr(a). Rosângela Maria Vanalle (UNINOVE /PPGEP) - Orientadora



Prof(a). Dr(a). Fernando Topal Berssaneti (USP/PEQ) – Membro Externo



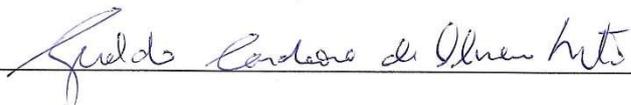
Prof(a). Dr(a). Ivanir Costa (UNINOVE / PPGI) - Membro Externo



Prof(a). Dr(a). Wagner Cezar Lucato (UNINOVE / PPGEP) - Membro Interno



Prof(a). Dr(a). Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (PPGEP/UNINOVE) - Membro Interno



Dedico este trabalho aos meus avós e pai, especialmente à minha Avó Almerinda Guerhardt que pacientemente, desde minha tenra vida, cuidou que eu me tornasse o homem que sou e ela, ainda hoje, com seus 95 anos de vida, preocupa-se comigo e com meu bom desempenho.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Joyce a paciência e apoio durante esta jornada.

À Universidade Nove de Julho – Uninove a oportunidade única de cursar a pós-graduação em regime bolsista, condição fundamental para que eu pudesse realizar o sonho de concluir um doutorado.

Ao Magnífico Reitor, Prof. Eduardo Storopoli, e à Pró-Reitora Acadêmica, Prof.^a Maria Cristina Storopoli, o cuidado e louvável iniciativa em manter um programa de pós-graduação de nível excelente e, ainda assim, apesar de tantas conquistas, manterem o olhar carinhoso e cuidadoso que somente um real Professor pode ter.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Rosangela Maria Vanalle todo conhecimento passado, apoio e valiosas correções nos oportunos momentos.

À Prof.^a Dr.^a Íris Gardino o lindo, primoroso e amoroso trabalho de revisão de texto desta tese.

À Geovana Cânovas e Isabella Vasconcelos o auxílio e ajuda na formatação deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação que compartilharam suas descobertas e me encorajaram sempre a terminar este projeto.

Ao Dr. Jefferson Alves de Campos, exemplo, pastor e amigo que, com sua vida profissional, formações acadêmicas e trabalho incansável, ensinou-me a importância de ser um bom homem, sábio e detentor de conhecimento técnico.

Ao Parque Tecnológico de Sorocaba, representado na pessoa de seu presidente, Dr. Roberto Freitas, o apoio e suporte na abertura de portas e oportunidades nas empresas consultadas para construção deste trabalho. Sem o “selo” do Parque Tecnológico de Sorocaba, esta pesquisa teria sido demasiadamente difícil.

Enfim, a todos aqueles que, de determinada maneira, contribuíram para que este sonho pudesse ser concretizado.

“Não tenho medo de morrer; tenho pena, porque
são tantas as ideias para realizar.”
(Chico Anysio)

RESUMO

O Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) está em constante desenvolvimento tecnológico. Exemplo disso pode ser compreendido no avanço da Tecnologia da Informação (TI) e da Internet das Coisas (*IoT* - rede conectada à *internet* em tempo real, em que os objetos conectados trocam informações entre si de forma autônoma). O uso da *IoT* está em progressiva expansão na área industrial, todavia não há evidências de *Frameworks* (modelos de trabalho), para a aplicação da *IoT* no GCS, bem como pesquisas voltadas a empresas de Autopeças que utilizam a tecnologia da *IoT* no GCS. O propósito desta tese é o desenvolvimento e a apresentação de um *Framework* que sirva como guia de implementação da *IoT* no GCS. Para tanto, uma revisão bibliográfica foi realizada com o objetivo de se identificar a lacuna de pesquisa e auxiliar a construção do *Framework*. Para a validação da aplicabilidade de tal *Framework*, utilizando-se a ferramenta *Delphi* foram coletadas opiniões de especialistas locados em empresas de Autopeças pertencentes à determinada Cadeia de Suprimentos. O resultado mostra que os entrevistados consideraram o *Framework* proposto factível, confiável e seguro, pois traz rapidez à tomada de decisão, transparência nos processos, minimização de custos e, em consequência, melhor gestão de recursos no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.

Palavras-chave: Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), *Framework*, Internet das Coisas (*IoT*), Autopeças, *Delphi*.

ABSTRACT

Supply Chain Management (GCS) is in constant technological development. An example of this can be seen in the advancement of Information Technology (IT) and the Internet of Things (IoT - connected objects exchange information between themselves autonomously). The use of IoT is progressively expanding in the industrial area, however there is no evidence of Frameworks for the application of IoT in GCS, as well as research aimed at Auto Parts Companies using IoT technology in GCS. The purpose of this thesis is the development and presentation of a Framework that will serve as a guide for implementing IoT in GCS. To this end, a literature review was conducted to identify the research gap and assist the construction of the Framework. To validate the applicability of such Framework, using the Delphi tool, opinions were collected from experts located in Auto Parts Companies belonging to a given *Supply Chain*. The result shows that respondents considered the proposed Framework feasible, reliable and secure, as it brings rapid decision, process transparency, cost minimization and, consequently, better resource management in *Supply Chain* Management.

Key-words: *Supply Chain* Management (SCM), Framework, Internet of Things, Autoparts, Delphi.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A Estrutura da Tese	24
Figura 2 – Detalhe da Estrutura da Tese	25
Figura 3 – <i>Framework</i> para a tomada de decisão estratégica.....	42
Figura 4 - Estrutura do <i>Framework</i> proposto para medir o desempenho da Cadeia de Suprimentos Sustentável	45
Figura 5 – Arquitetura do sistema de monitoramento em tempo real num processo de linha de montagem.....	51
Figura 6 – Projeto de sistema para processamento de <i>Big Data</i>	52
Figura 7 - A implementação do caso real do sensor proposto baseado em <i>IoT</i> numa linha de montagem.....	53
Figura 8 - Representação em camadas do <i>Framework</i> de conscientização situacional baseado em <i>IoT</i>	55
Figura 9 – Detalhes da camada <i>IoT</i>	56
Figura 10 – O <i>Framework</i> de <i>IoT</i> integrado.....	59
Figura 11 – <i>Design</i> lógico para o <i>Framework</i>	60
Figura 12 - <i>Framework</i> – Sistema de Manufatura Inteligente da Indústria 4.0	62
Figura 13 - <i>Framework</i> de uma Indústria 4.0 Sustentável.....	67
Figura 14 - <i>Framework</i> Manufatura Inteligente Automática (<i>ASM – Autonomic Smart Manufacturing</i>)	71
Figura 15 - <i>Framework</i> de Integração de Informações da Manufatura em Tempo Real.....	73
Figura 16 - <i>Framework</i> do Sistema de Manufatura Personalizada (PCMS).....	76
Figura 17 - Modelo de representação do <i>Playing Field</i>	79
Figura 18 - Fábrica do Futuro em Sistema Ecológico de Cadeia de Suprimentos Sustentável com Indústria 4.0	81
Figura 19 - <i>Framework</i> para avaliar a Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável para Indústria 4.0	82
Figura 20 - Modelo da Cadeia de Suprimentos Interna e Externa.....	86
Figura 21 – Gestão da Cadeia de Suprimentos	86
Figura 22 – Campos de Aplicação da Internet das Coisas.....	87
Figura 23 – Sistema do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.....	88

Figura 24 – O diagrama detalhado do <i>Framework</i> proposto para a GCS inteligente	90
Figura 25 – O <i>Framework</i> proposto para avaliar os critérios de segurança	92
Figura 26 – <i>Framework</i> proposto para a adoção de <i>IoT</i> no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos	98
Figura 27 – O Processo de Análise	105
Figura 28 – O Processo <i>Delphi</i>	107
Figura 29 – Fases <i>Delphi</i>	108
Figura 30 – <i>Framework</i> com especificação dos objetos tecnológicos	113
Figura 31 – <i>Framework</i> com o Gestor	114
Figura 32 – <i>Framework</i> com a sugestão da ordem das tarefas	115
Figura 33 – <i>Framework</i> com interseção de setas	116
Figura 34 – Processo para obtenção do <i>Framework</i> final	119
Figura 35 – O <i>Framework</i> final	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos para a quarta Revolução Industrial.....	83
Tabela 2 – Tabela de análise: Tarefas da Cadeia de Suprimentos Tradicional e com Internet das Coisas	93
Tabela 3 – Pesquisa Bibliográfica	101
Tabela 4 – Painel de Especialistas.....	109
Tabela 5 – Sugestões dos especialistas para mudanças no <i>Framework</i>	112
Tabela 6 – Alterações realizadas com a aplicação do método <i>Delphi</i>	117
Tabela 7 – Consenso de aprovação do <i>Framework</i>	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AHP	Processo Hierárquico Analítico
AMQP	Protocolo avançado de Enfileiramento de Mensagens
API	<i>Application Programming Interface</i>
ASM	<i>Automatic Smart Manufacturing</i>
AT&T	<i>American Telephone and Telegraph</i>
AWS	<i>Amazon Web Services</i>
B2B	Negócios para negócios
B2C	Negócios para clientes
CCP	Comunicação por Campo de Proximidade
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CS	Cadeia de Suprimentos
CSI	Cadeia de Suprimentos Inteligente
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DBSCAN	Agrupamento Espacial Baseado em Densidade de Aplicações com Ruído
DDS	Serviço de Distribuição de Dados
DHL	<i>Dalsey, Hillblom and Lynn</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
GCS	Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos
GCSS	Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos Sustentável
GIS	Sistema de Informação Geográfica
GPS	Detector de Posição Global
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOB	Internet dos Comportamentos
IoT	Internet das Coisas
LPWANs	<i>Low Power Wide Area Network</i>
MES	Sistema de execução da manufatura
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>

MQTT	Transporte de Telemetria do Serviço de Enfileiramento de Mensagens
NFC	<i>Near Field Communication</i>
PCMS	Sistema de Manufatura Personalizada
PDM	Gerenciamento de Dados do Produto
PHP	<i>Personal Home Page</i>
PIB	Produto Interno Bruto
QoS	Qualidade de Serviço
RFID	Identificação por Radiofrequência
RTMIIS	Serviço de Integração de Informações da Manufatura em Tempo Real
SCOR	Métricas da Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
WSN	Sensor de Rede sem Fio
XMPP	Mensagens Extensíveis e Protocolo de Presença
ZB	<i>Zettabyte</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	20
1.2 OBJETIVOS	21
1.2.1 Objetivo Geral.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
1.3 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO DO TEMA	21
1.4 METODOLOGIA.....	23
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS – GCS	26
2.1.1 Desafios do GCS	29
2.2 INTERNET DAS COISAS – <i>IoT</i>	31
2.2.1 Tecnologias <i>IoT</i> : Identificação por Radiofrequência – <i>RFID</i>	32
2.2.2 Tecnologias <i>IoT</i> : <i>Middleware</i>	34
2.2.3 Tecnologias <i>IoT</i> : Computação em Nuvem	36
2.2.4 Tecnologias <i>IoT</i> : Redes e Sensores sem Fio (<i>WSN</i>)	37
2.2.5 <i>IoT</i> na Cadeia de Suprimentos.....	38
2.3 FRAMEWORKS	40
2.3.1 <i>Framework</i> para tomadas de decisões estratégicas	42
2.3.2 <i>Framework</i> multidimensional abrangente para avaliar o desempenho de Cadeias de Suprimentos Sustentáveis	44
2.3.3 Análise de desempenho do sensor baseado em <i>IoT</i> , processamento de <i>Big Data</i> e modelo de aprendizado de máquina para o sistema de monitoramento em tempo real na fabricação automotiva.....	48
2.3.4 <i>Framework</i> de percepção situacional baseado em <i>IoT</i> para gerenciamento de projetos em tempo real	54
2.3.5 <i>Framework</i> baseado em <i>IoT</i> para aferição de desempenho: um alinhamento em tempo real da Cadeia de Suprimentos	57
2.3.6 Sistema de Manufatura Inteligente da Indústria 4.0	61
2.3.7 Indústria Sustentável	66
2.3.8 <i>ASM – Autonomic Smart Manufacturing</i> (Manufatura Inteligente Automática) ...	699
2.3.9 Integração de Informações da Manufatura em Tempo Real.....	72
2.3.10 <i>PCMS</i> - Sistema de Manufatura Personalizada	75

2.3.11 Modelo de Representação do “ <i>Playing Field</i> ”	78
2.3.12 Uma revisão da Cadeia de Suprimentos Sustentável incorporada à Internet das Coisas (<i>IoT</i>) e requisitos da Indústria 4.0.....	80
2.3.13 <i>Framework</i> para construir sistemas inteligentes, seguros e eficientes	85
2.4 PROPOSTA DE <i>FRAMEWORK</i> PARA A IMPLANTAÇÃO DE <i>INTERNET DAS COISAS</i> NO GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	93
3 MÉTODO DE PESQUISA	100
3.1 CRITÉRIOS PARA A REVISÃO DE LITERATURA	100
3.2 MÉTODO <i>DELPHI</i>	102
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	111
4.1 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO <i>DELPHI</i>	111
4.1.1 Primeira rodada	111
4.1.2 Segunda rodada	117
4.2 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	119
5 CONCLUSÃO	125
6 REFERÊNCIAS.....	128

1 INTRODUÇÃO

O correto e eficiente Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) é parte fundamental da construção de uma empresa de sucesso. O GCS pode ir além dos limites de uma única empresa, compartilhando informações entre fornecedores, fabricantes, distribuidores e varejistas. Dessa forma, a *Internet* pode-se tornar um agente de papel central, fazendo com que todos os envolvidos no Gerenciamento da Cadeia possam concentrar-se e, em consequência, trocar informações de forma rápida, efetiva e segura.

Chen e Paulraj (2004) indicam que, devido ao crescimento da cooperação internacional, a desintegração vertical e o aumento do foco nas principais atividades por parte das grandes empresas ligadas numa Cadeia de Suprimentos em rede, surge o desafio de projetar e gerenciar uma rede de relacionamentos interdependentes desenvolvidos e fomentados por meio da colaboração estratégica.

Exemplos disso são as mundialmente conhecidas *American Telephone and Telegraph* (AT&T - companhia estadunidense de telecomunicações) e *Amazon* (rede de comércio eletrônico dos Estados Unidos). Em 2016 anunciaram parceria para que, de forma mais simples e segura, dispositivos conectados na AT&T possam transmitir dados na *Amazon Web Services* (AWS - Serviços de Computação em Nuvem), resultando, assim, na integração estratégica entre as plataformas de *Internet* das Coisas (*IoT*) das referidas empresas e, em consequência, a excelência dos serviços *online* com rápida capacidade de atualização de informações (BUTLER, 2016).

A adoção de uma abordagem integrada em toda a Cadeia de Suprimentos requer uma troca entre autonomia e controle, para a qual o equilíbrio é único, entre cada relacionamento de parceiro de fornecimento. No ambiente industrial, em que novos modelos de negócios rapidamente suplantam os antigos, a inovação deve abranger mais do que as extensões das linhas de produção. Os atuais ambientes de negócios internacionais exigem inovação em todos os processos de negócios, principalmente nas Cadeias de Suprimentos (GRAHAM; HARDAKER, 2000).

Graham e Hardaker (2000) identificaram, com a análise de mais de 400 artigos, várias iniciativas e fatores da Cadeia de Suprimentos (CS) para desenvolver os principais constructos de gestão condizentes com o avanço dos trabalhos de campo, sendo os fatores considerados importantes na construção destes desde a estratégia

de compras, tempo de relacionamentos entre fornecedores, comunicação e, até a não menos importante adoção de avançada Tecnologia da Informação.

Internet of Things (IoT), também chamada de *Internet de Tudo (Internet of Everything)*, *Internet das Coisas* ou *Internet Industrial (Industrial Internet)*, é um novo paradigma tecnológico concebido como uma rede global de máquinas e dispositivos capazes de interagir entre si. A *IoT* é reconhecida como uma das áreas mais importantes da tecnologia do futuro e está ganhando grande atenção de uma ampla gama de indústrias, pois poderá impactar de forma drástica o comportamento dos membros que compõem determinada Cadeia de Suprimentos (LEE; LEE, 2015).

A *IoT* mudará os processos de operação, impactando toda a CS, transformando a gestão do inventário, logística e manufatura. Segundo Lee e Lee (2015), para a implementação da *IoT*, cinco tecnologias são basicamente necessárias: Identificação por Radiofrequência (*RFID – Radio Frequency Identification*), Sensores de Rede Sem Fio (*WSN – Wireless Sensor Networks*), programas específicos de comunicação entre diferentes *softwares (Middleware)*, Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) e *softwares* específicos para a aplicação de *IoT (IoT application software)*.

A empresa de logística *Dalsey, Hillblom and Lynn* (DHL - especializada em serviços de *courier*, entrega internacional e transporte) e a gigante empresa de tecnologia da informação, *Cisco Systems* (líder mundial em TI e redes), estimaram em 2015 que as tecnologias de *IoT*, como as tecnologias que envolvem as soluções de rastreamento de ativos, poderiam ter um impacto de mais de US\$ 1.9 trilhão no setor de logística e, em consequência, na Cadeia de Suprimentos (MACAULAY; BUCKALEW; CHUNG, 2015).

Entre os objetos tecnológicos (as tecnologias) são exemplos: as etiquetas *RFID*, que fornecem dados sobre os itens nos quais estão afixadas; os rastreadores conectados à *Internet* que utilizam redes de longo alcance ou *Low Power Wide Area Network (LPWANs)*, sigla em inglês para redes amplas de baixa potência; etiquetas com transmissão *Bluetooth* que oferecem dados de rastreamento em áreas menores e etiquetas de Comunicação por Campo de Proximidade (CCP) ou da sigla em inglês *Near Field Communication (NFC)*, tecnologia para o compartilhamento de informações sem fio entre dispositivos compatíveis que estejam em proximidade (MEOLA, 2016).

Tais redes permitem que as empresas rastreiem itens específicos em todas as suas jornadas de entrega; os rastreadores de satélites fornecem dados de localização

de um item em praticamente qualquer lugar do planeta, mesmo em áreas sem cobertura para celular.

A literatura, do ponto de vista teórico-prático, apresenta trabalhos que relatam a importância da *IoT* na Indústria 4.0 e as possíveis modificações que serão sofridas no GCS em função dos adventos de tal Revolução Industrial, porém sem apresentar um *Framework* que auxilie as empresas a adotarem a *IoT* na Cadeia de Suprimentos.

A Indústria 4.0 é uma revolução na fabricação e traz uma nova perspectiva de como a fabricação pode colaborar com as novas tecnologias para obter o máximo rendimento com a utilização mínima de recursos. É a união de fabricação com Tecnologia da Informação (WITTENBERG, 2016).

A sincronização global de dados e o comércio global são tendências recentes a que cada CS pode estar exposta. A *IoT* pode ser útil no GCS em diferentes funções que vão desde a logística de entrada e saída, até a combinação de computação móvel, análise imediata de dados reunidos e serviços gerenciados com informações agrupadas em nuvem que podem mudar a própria dinâmica logística, consumindo menos tempo e dinheiro. Dessa forma, diferentes seções de suprimentos podem ser alimentadas por *IoT*, melhorando todo o GCS.

A ausência de um roteiro para as empresas implementarem a *IoT* no GCS pode ser uma razão da insegurança quanto à implantação desse inovador modo de gestão. Para tanto, este trabalho traz nos devidos capítulos a revisão bibliográfica dos assuntos: *Internet das Coisas*, GCS e *Frameworks* em GCS; *Frameworks* em *IoT*; *Frameworks* em GCS e *IoT*; *Frameworks* na Indústria 4.0 e *Frameworks* em *IoT* com GCS e Indústria 4.0, buscando preencher a lacuna que clama pela necessidade de criação de um *Framework* capaz de explicar e guiar os possíveis interessados na implementação da *IoT* no GCS, mais especificamente utilizando como exemplo/modelo a Cadeia de Suprimentos da indústria automobilística.

O método *Delphi* é usado para coletar, organizar e estruturar sistematicamente juízos e opiniões sobre um assunto particularmente complexo, até que se chegue a um consenso sobre o assunto ou até que se torne evidente que não é possível uma convergência adicional (HELMER; RESCHER, 1959).

O método *Delphi* foi escolhido para tal por ser o instrumento de pesquisa utilizado, quando existe lacuna de conhecimento em algum problema, e porque trará a opinião de especialistas no assunto que avaliarão, por meio de questionários e/ou entrevistas, o *Framework* proposto.

O diferencial de tal trabalho dá-se em função do modo pelo qual poderá ser implantado um sistema gerencial capaz de fazer com que diversos agentes da cadeia sejam capazes de conversar entre si de forma autônoma e tomar decisões de coleta, compartilhamento de espaços, cargas, necessidades e transportes, pela *Web*, por meio dos equipamentos instalados em suas companhias.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A revisão bibliográfica produzida como parte deste trabalho demonstrou que *IoT* não é mais uma expectativa tecnológica, e a inovação tornou-se um elemento-chave no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) para se obter vantagem competitiva. O GCS baseado em *IoT* ajuda a alcançar essa vantagem dentro das organizações (LI *et al.*, 2017).

O crescimento industrial induz novas oportunidades de se aderirem a novas tecnologias melhorando a forma da perspectiva da Cadeia de Suprimentos (SIEMIENIUCH; SINCLAIR; HENSHAW, 2015).

Como observado na literatura, há uma grande oportunidade de pesquisa para que a proposta do desenvolvimento de um *Framework* possa ser utilizada como guia de implantação da *Internet* das Coisas (*IoT*) no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), permitindo compreender as etapas de um processo de ações para a implantação e melhoria do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.

A partir da lacuna identificada na literatura, neste trabalho propõe-se a seguinte questão de pesquisa:

Devido ao crescente desenvolvimento tecnológico advindo da chamada Indústria 4.0, com suas tecnologias habilitadoras, das quais podemos destacar a *IoT*, como passará a ser visto o GCS com o uso de tal ferramenta?

1.2 OBJETIVOS

Assim, para responder à questão proposta, os seguintes objetivos serão considerados.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese é desenvolver e apresentar um *Framework* que auxilie as empresas a adotarem a *Internet das Coisas (IoT)* como ferramenta de conexão no gerenciamento de suas respectivas Cadeias de Suprimentos (CS).

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são os seguintes:

- identificar as dimensões teóricas relevantes a serem consideradas na implantação da *IoT* por meio de uma revisão bibliográfica;
- com base nas pesquisas realizadas sobre *IoT*, bem como sobre modelos de *Framework* existentes para Indústria 4.0, *Frameworks* para o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos e *Frameworks* de implementação de *IoT* em diversas áreas, propor um *Framework* para a implementação da *IoT* no GCS de Autopeças;
- com a ferramenta *Delphi*, realizar entrevista com questões pertinentes à implementação de *IoT* no GCS com especialistas, apresentando o *Framework* resultante da pesquisa bibliográfica a fim de validá-lo ou melhorá-lo de acordo com as impressões passadas pelos especialistas.

1.3 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO DO TEMA

Um sistema de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), bem organizado, envolve a otimização da funcionalidade das operações para ser rápido e eficiente. Hoje, mais do que nunca, o GCS é essencial para o sucesso de qualquer empresa e satisfação do cliente, pois tem o poder de reduzir os custos operacionais,

melhorar a situação financeira de uma empresa e impulsionar o atendimento ao cliente (STEVENS, 2007).

A *Internet das Coisas (IoT)*, quando aplicada no GCS, permite automatizar e controlar tarefas realizadas diariamente, evitando a intervenção humana. A comunicação entre máquinas ajuda a manter a transparência nos processos, uniformidade nas tarefas, qualidade do serviço e tomada de decisões necessárias (HUGOS, 2011).

Tal interação fornece melhor eficiência e, portanto, resultados precisos podem ser obtidos rapidamente. Isso resulta em economia de tempo, utilização de energia e recursos que podem ser alcançados quando dispositivos são mantidos sob monitoramento (HALL *et al.*, 2012).

Todas as aplicações dessa tecnologia culminam em maior conforto, conveniência e melhor gerenciamento, aumentando a qualidade de vida, além de facilitar o fornecimento de informações que poderiam ser coletadas com dificuldade. Tecnologia é uma tendência e acompanhá-la fará com que a empresa, que tenha capacidade tecnológica, fique um passo à frente de sua concorrência (HAZEN; BYRD, 2012).

No Brasil não há evidências da utilização dessa tecnologia voltada para as empresas de Autopeças no GCS e o tema proposto visa apresentar, pelo *Framework*, a importância da adoção da abordagem a fim de auxiliar a implementação.

A literatura tem mostrado que a *IoT* é uma realidade em muitos países e empresas, como sugerido na revisão bibliográfica por Ghimire *et al.* (2016), Rezaei, Shirazi e Karimi (2017) e Syafrudin *et al.* (2018), porém sem apresentar um caso específico no mercado brasileiro, principalmente no tocante à utilização de tal técnica no GCS, com apresentação de opiniões de especialistas da área.

Representando um total de 10,3% de todo o comércio em 2015, o comércio de peças, motocicletas e veículos automotores movimentou R\$ 342,2 bilhões (IBGE, 2017).

Segundo a ANFAVEA (2018), cerca de 22% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial do Brasil são representados pelo setor automotivo, com um faturamento total de U\$ 46.9 bilhões em 2016, incluindo Autopeças.

O setor automotivo possui considerável importância no cenário macroeconômico nacional. Esse setor foi responsável pela geração de mais de 100

mil empregos no Brasil nos últimos anos, além de contribuir de forma considerável para o PIB brasileiro com participação de 4% no PIB total em 2015 (ANFAVEA, 2019).

A relevância da investigação do assunto dá-se devido à automatização dos processos de que uma indústria de Autopeças pode dispor quando seu Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos está alinhado à *Internet das Coisas*.

O estudo visa preencher a presente lacuna e contribuir para o meio acadêmico, podendo servir de base para estudos futuros que aprofundem o assunto em outros tipos de indústria que utilizam GCS e *IoT* e para as empresas, pois permite uma facilidade maior de implementação de *IoT*.

Por essas razões, considera-se relevante a proposta deste trabalho em procurar-se determinar um *Framework* para a implementação da *IoT* no GCS.

1.4 METODOLOGIA

Para a construção desta tese, os trabalhos iniciais foram concentrados na realização de uma revisão bibliográfica em que se buscou encontrar informações que comprovassem a lacuna de pesquisa. A revisão bibliográfica foi realizada acerca dos temas que envolveram GCS, *IoT*, *Frameworks* em GCS; *Frameworks* em *IoT*; *Frameworks* em GCS e *IoT*; *Frameworks* na Indústria 4.0 e *Frameworks* em *IoT* com GCS e Indústria 4.0.

Com base na pesquisa realizada e nos *Frameworks* encontrados para a Indústria 4.0, neste trabalho desenvolveu-se um *Framework* para a implementação da *IoT* no GCS.

Com o propósito de verificar a aplicabilidade de tal *Framework*, especialistas foram consultados utilizando-se o método *Delphi*.

A metodologia de pesquisa está detalhada no Capítulo 3.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Com o propósito de atender os objetivos desta tese, este trabalho foi estruturado em seis capítulos. No Capítulo 1, foi desenvolvida a introdução. No

Capítulo 2, a realização da revisão bibliográfica acerca do tema, bem como a explanação de *Frameworks* encontrados na literatura com o objetivo de se identificarem as lacunas de pesquisa, assim como identificar o estado da arte dos conceitos referentes ao tema deste trabalho. Após, foi proposto um *Framework* para implementação das ferramentas do *IoT* no GCS. No Capítulo 3, foi proposto o método de pesquisa.

No Capítulo 4, apresentaram-se os resultados e discussões com as entrevistas utilizadas para a coleta de opiniões dos especialistas quanto à eficiência e relevância do *Framework* proposto e, então, apresentado o *Framework* final com discussões. Por fim, no Capítulo 5, realizou-se a conclusão deste trabalho, assim como suas limitações e oportunidades de pesquisas futuras. O Capítulo 6 contém as referências.

A Figura 1 ilustra a estrutura da tese em seus seis capítulos: Introdução, Revisão bibliográfica, Método de pesquisa, Discussões e Resultados, Conclusão e Referências.

Figura 1 - A Estrutura da Tese

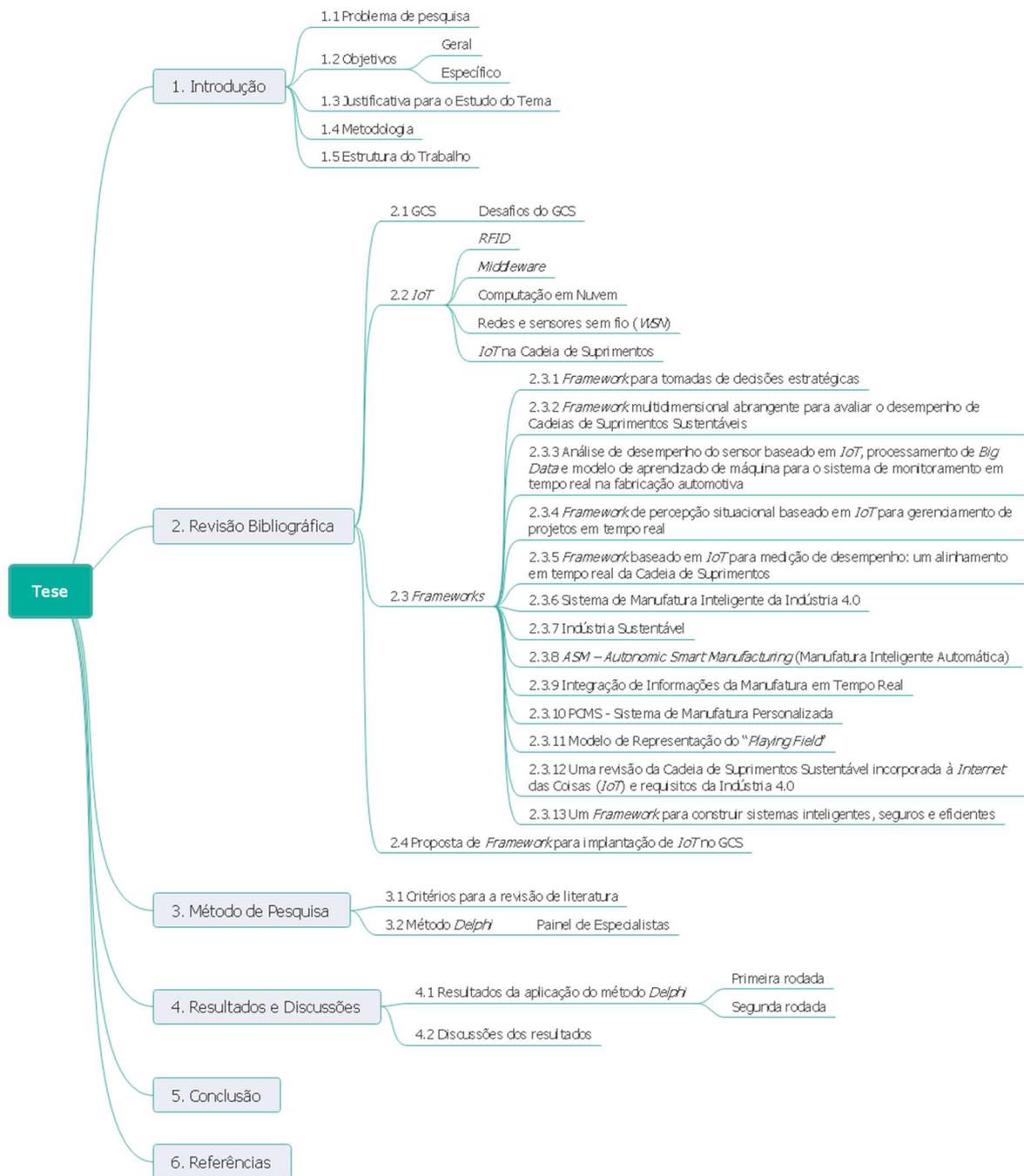


ESTRUTURA DA TESE: PROPOSTA DE *FRAMEWORK* PARA ADOÇÃO DE *IoT* NO GERENCIAMENTO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A Figura 2 ilustra o detalhamento da estrutura da tese em seus seis capítulos e subcapítulos.

Figura 2 – Detalhe da Estrutura da Tese



Fonte: Elaborada pelo Autor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a construção desta tese, uma revisão bibliográfica foi realizada buscando-se a evolução dos trabalhos referentes ao Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), Internet das Coisas (*IoT*) e *Frameworks* em GCS; *Frameworks* em *IoT*; *Frameworks* em GCS e *IoT*; *Frameworks* na Indústria 4.0 e *Frameworks* em *IoT*, GCS e Indústria 4.0, publicados nos últimos cinco anos para que, assim, fosse identificada a lacuna que possibilite o desenvolvimento deste trabalho. Em seguida, procedeu-se a uma revisão da literatura que tratou dos temas centrais: GCS, *IoT* e *Frameworks*, tendo por objetivo encontrar o estado da arte para os temas abordados.

2.1 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS – GCS

Na década de 1980, a expressão abreviada “GCS” foi relatada pela primeira vez na literatura (COOPER; LAMBERT; PAGH, 1997) para detalhar a logística de conexão com outras funções e descrever os vínculos entre logística, funções internas e organizações externas (HOULIHAN, 1985).

Ellram e Cooper (1990) definem Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) como uma abordagem integrada para lidar com o planejamento e controle do fluxo de materiais de fornecedores a usuários finais. Essa abordagem é destinada à gestão cooperativa e controle de distribuição dos canais de relacionamentos para o benefício de todas as partes envolvidas, maximizando a eficiência do uso de recursos.

Os estudantes da Cadeia de Suprimentos relataram que a ampla perspectiva e cobertura da GCS torna o conceito difícil de se estudar e que as “cadeias” são “redes” que formam uma extensa *network* (ELLRAM, 1991).

La Londe e Masters (1994) propuseram que a Cadeia de Suprimentos é um conjunto de indústrias que compartilham matérias e que diversas indústrias independentes estão envolvidas na produção de um produto que será destinado ao final de uma cadeia. Os componentes de uma cadeia vão desde matérias-primas, até produtores de componentes, montadores, atacadistas, varejistas e companhias de transporte.

Numa Cadeia de Suprimentos, há três estágios tradicionais: demanda, produção e distribuição. Cada estágio pode ser composto por inúmeras instalações em diferentes locais ao redor do mundo (THOMAS; GRIFFIN, 1996). Cooper, Lambert e Pagh (1997) estabeleceram também que o objetivo do Gerenciamento da Cadeia é diminuir o montante total de recursos primordiais para providenciar o nível necessário de serviço ao cliente para um determinado segmento.

O gerenciamento estratégico, proveniente dos altos cargos, fundamenta a tomada de decisões em longo prazo da empresa e estabelecem objetivos, como: sobrevivência, desenvolvimento e eficácia de suas ações. O gerenciamento tático interpreta esses objetivos e aplica-os a atividades específicas; no gerenciamento operacional, o foco é implementar os planos provenientes dos objetivos (BATEMAN, 1998).

A Cadeia de Suprimentos pode apresentar diferentes graus de complexidade com relação ao número de membros e variedade de processos de negócios, mas sempre há uma organização central. Essa organização pode gerenciar toda a Cadeia de Suprimentos ou não e, se essa não for totalmente gerenciada, a cadeia ainda permanece como um fenômeno de negócios (MENTZER *et al.*, 2001).

Para uma compreensão aprimorada, estruturas de *Frameworks* são desenvolvidas com o pressuposto de se compreender claramente a GCS e que, sem esse detalhamento, não seria possível aplicar o gerenciamento na prática ou na pesquisa (MENTZER *et al.*, 2001). O GCS pode ser classificado em três níveis de compreensão: estratégico, tático e operacional (GUNASEKARAN; PATEL; TIRTIROGLU, 2001).

Uma Cadeia de Suprimentos consiste em todas as atividades e processos associados ao fluxo de bens e de informação desde o estágio inicial da matéria-prima até o final, o produto/serviço. O GCS consiste na integração dessas atividades e processos (HANDFIELD; NICHOLS, 2003). Chen e Paulraj (2004) afirmam que o GCS é uma ampla rede de conexões entre materiais, informações e serviços com características de oferta, transformação e demanda.

Segundo Stevens (2007), a Cadeia de Suprimentos é uma ferramenta poderosa no mercado competitivo, reduzindo inventário, diminuindo custos e atendendo o

cliente com eficácia. O autor também cita que a Cadeia de Suprimentos é a conectividade entre as atividades referentes a planejamento, coordenação/control de material, peças e produtos acabados, bem como a relação desde o fornecedor até o cliente.

Nos anos de 1990, os acadêmicos descreveram um ponto de vista teórico para esclarecer a diferença entre abordagens tradicionais para gerenciar o fluxo de materiais e o fluxo de informações (LAMBERT, 1992).

O GCS possui diversos objetivos. Entre tantos, o autor Stevens (2007) menciona a sincronização do fluxo de materiais do fornecedor com os pedidos do cliente, visando ao equilíbrio entre o que geralmente é identificado como metas conflitantes no atendimento ao cliente, baixo investimento de estoque e baixo custo unitário do produto. As operações e o *design* na Cadeia de Suprimentos são de fundamental importância para todas as organizações que buscam a efetividade em seus processos.

O campo do GCS tem por finalidade gerenciar os fluxos de informações, produtos e serviços por meio de uma conexão entre a carteira de clientes, empreendimentos e fornecedores da Cadeia de Suprimentos (RUSSEL; TAYLOR, 2009). O GCS é um conjunto de abordagens utilizadas para integrar fornecedores, fabricantes, armazéns e lojas, para que os produtos sejam produzidos e distribuídos na quantidade certa, local certo e no tempo certo, a fim de minimizar os custos do sistema e satisfazer os requisitos (LOU *et al.*, 2011).

Como exemplo, numa indústria automotiva, as fábricas de montagem estão localizadas em países diferentes daqueles que são fornecedores e a distribuição é de âmbito mundial (FELEA; ALBASTROIU, 2013).

Segundo Felea e Albastroiu (2013), as Cadeias de Suprimentos são capazes de se integrarem entre si e essa cadeia integrada contém, geralmente, três fluxos inter-relacionados: fluxo de material (compra, transformação e distribuição); fluxo de informação (troca de dados ou *links* de *sites*) e fluxo financeiro (pagamento aos fornecedores, subcontratantes e o pagamento pelo cliente ao varejista para o produto final).

2.1.1 Desafios do GCS

Segundo Lambert, Cooper e Pagh (1998), gerenciar uma Cadeia de Suprimentos é uma tarefa complicada e as estratégias não podem ser determinadas isoladamente, pois as organizações dependem umas das outras. As estratégias de cada cadeia devem estar alinhadas aos objetivos específicos da organização, como maximizar a produtividade no mercado e aumentar o lucro.

Para Ellinger (2000), é um desafio projetar e operar uma Cadeia de Suprimentos para que os custos de todo o sistema sejam minimizados e mantidos os níveis de serviço.

Segundo Ballou, Gilbert e Mukherjee (2000), as oportunidades variam dentro das Cadeias de Suprimentos e, quando essas envolvem outras áreas funcionais além da função de fluxo de produto dentro da mesma empresa, o controle gerencial fica mais difícil. Essas oportunidades envolvem áreas funcionais, como vendas, produção, compras e finanças e, dependendo de como a empresa estiver organizada, a integração é dificultada, pois essas áreas possuem motivações e recompensas diferentes.

Na maioria das organizações, diferentes gerentes estão responsáveis por atividades distintas dentro de uma cadeia e possuem pouco ou nenhum contato com a movimentação dos produtos no decorrer dela e, por meio disso, recorrem a ferramentas gerenciais e técnicas que nem sempre estão disponíveis dentro da empresa (BALLOU; GILBERT; MUKHERJEE, 2000).

Incertezas e riscos são inerentes a toda Cadeia de Suprimentos: não há como prever exatamente a quantidade de demanda, o tempo de transporte, e se máquinas e veículos apresentarão defeitos (RITCHIE; BRINDLEY, 2004).

Gerenciar os inter-relacionamentos entre atividades e organizações tornaram-se desafios internos de coordenação para o alcance do objetivo de maximizar a competitividade e a rentabilidade (STOREY *et al.*, 2006).

Para Stevens (2007), a abordagem tradicional para gerenciar conflitos, entre as organizações, refere-se a concentrar-se nos níveis operacionais e de planejamento e compensar o desequilíbrio com o excesso de estoque e capacidade.

As cadeias são sistemas interdependentes e, se um processo for prejudicado, a cadeia pode desequilibrar-se e apresentar um desempenho desestabilizado, acometendo sua eficiência (STEVENS, 2007).

Recentemente, diversas tendências são encontradas na cadeia, tais como terceirização e a manufatura enxuta com foco na redução dos custos que, dessa forma, aumentam significativamente o nível de risco na Cadeia de Suprimentos e, conseqüentemente, precisam ser projetadas e gerenciadas para eliminar o máximo de incertezas e riscos possíveis, além daqueles que permanecem (NOGUEIRA; ALCÂNTARA, 2013).

Christopher (2016) descreve a Cadeia de Suprimentos como um sistema dinâmico em que a demanda dos clientes, as capacidades dos fornecedores e as relações das cadeias evoluem constantemente. Relata também que é um sistema de muitas variações: mesmo que a demanda seja precisa, o planejamento deve levar em conta os parâmetros de demanda e custo que variam constantemente devido a influências, tendências, promoções e publicidades.

Numa organização, os objetivos dos fornecedores conflitam diretamente com os desejos dos fabricantes em relação à flexibilidade, pois as decisões sobre a produção são tomadas, tipicamente, sem informações precisas sobre a demanda do cliente; a capacidade de os fabricantes combinarem oferta e demanda depende da eficiência em alterar o volume da produção em função das informações obtidas sobre a demanda. Da mesma forma, o objetivo dos fabricantes de elevar a produção conflita diretamente com o objetivo de reduzir o estoque dos centros de distribuição (PISHDAR *et al.*, 2018).

2.2 INTERNET DAS COISAS – *IoT*

Segundo Gershenfeld *et al.* (2004), a *Internet* das Coisas (*IoT*) tem feito e inspirado novas tendências e mudanças no Gerenciamento das Cadeias de Suprimentos (GCS), uma vez que, utilizando tal conceito, os objetos e equipamentos terão seu próprio código de identificação e poderão trocar informações entre si de forma autônoma.

O objetivo da *IoT* é formar uma infraestrutura digital para ajudar a interação das *commodities*, serviços e informações (LIU; SUN, 2011).

A *IoT* pode ser descrita como a base para o desenvolvimento de serviços e aplicações que oferece o compartilhamento de informações entre os *stakeholders* da Cadeia de Suprimentos provendo melhor visibilidade dessa (BARDAKI; KOUROUTHANASSIS; PRAMATARI, 2012).

Segundo Gubbi, Marusic, Buyya e Palaniswami (2013), a expressão *IoT* surgiu por volta de 1999, com um pesquisador do *Massachusetts Institute of Technology (MIT – AutoID Lab)*, chamado Kevin Ashton que, por sua vez, participou de um projeto com o intuito de averiguar maneiras de se otimizar o desempenho dos negócios por meio da interação da Tecnologia da Informação (TI) e *Internet*.

Caracteriza-se por ser uma ótima ferramenta para resolver problemas referentes a dados. Os autores Teimoury *et al.* (2013) identificaram problemas que podem ser solucionados com o *IoT* e dividiu-os em quatro tipos: atraso para captar informações, lentidão ao acessar dados, espera no recebimento de uma resposta e atualização do sistema.

A *Internet* das Coisas pode ser descrita como uma rede conectada à *internet* em tempo real e baseia-se em tecnologias e dispositivos que detectam informações, tais como o Detector de Posição Global (*GPS*), dispositivos de Radiofrequência (*RFID*), sensores infravermelhos, indutores de gás, *scanner a laser*, entre outros (BURKITT, 2014).

Rápido desenvolvimento na comunicação, *wireless* e redes de Tecnologia da Informação como *Bluetooth*, radiofrequência, *Wi-fi*, entre outros, têm construído a nova era da *IoT* (ZHANG *et al.*, 2014).

O uso da *IoT* está em constante expansão e espera-se com ela um grande impacto nos consumidores, empresários e na sociedade em geral. O mercado de suporte ao *IoT* espera crescer de 1,9 trilhão de dólares de 2013 para 7,1 trilhões em 2020 e o número de instalações espera expandir para 28,1 bilhões em 2020 (LUND *et al.*, 2014).

Ku (2017) concluiu que a rápida mudança tecnológica está sendo possibilitada graças às Tecnologias da Informação e à *IoT*. O artigo explorou o que pode significar as tecnologias emergentes para armazenamento de dados e sua respectiva implementação num alto volume usando-se o *Zettabyte* (ZB) para Cadeias de Suprimentos existentes num mercado dinâmico para certos tipos de materiais críticos. A seguir serão apresentadas as tecnologias *IoT*.

2.2.1 Tecnologias *IoT*: Identificação por Radiofrequência – *RFID*

Segundo Gupta (2000), existe uma gama de tecnologias da qual a Identificação por Radiofrequência (*RFID*) faz parte, como a biometria, código de barras, visão mecânica, tarja magnética, reconhecimento de voz, leitores de cartões ópticos, cartões inteligentes etc. Tais tecnologias são usadas para a coleta automatizada de dados com o intuito de aumentar o planejamento de recursos empresariais ou atividades do Sistema Integrado de Gestão Empresarial (*ERP - Enterprise Resource Planning*).

A *RFID* comunica-se por *tags* (etiquetas). A antena do leitor cria um campo magnético com a antena da *tag* e, a partir disso, forma-se uma energia empregada para mandar ondas ao leitor. Essas ondas são transformadas em informação eletrônica representando o código eletrônico do produto (ANGELES, 2005).

A tecnologia *RFID* é considerada para a obtenção de autoidentificação, por meio de ondas de radiofrequência, que possibilita a identificação de objetos físicos (ANGELES, 2005).

A *IoT*, com o auxílio das etiquetas de radiofrequência (*RFID*), é capaz de monitorar diversas ações, podendo por isso ser muito utilizada no Gerenciamento da

Cadeia de Suprimentos (GCS), controle de estoque, rastreamento de objetos na linha de produção e em processos. O uso de etiquetas é um dos fatores fundamentais para permitir ganhos de eficiência em diversos processos. O número de empresas à procura da tecnologia por radiofrequência é crescente, pois elas esperam que tal tecnologia possa impulsionar e revolucionar a maneira de fazerem negócios. A tecnologia vem sendo muito bem avaliada, pois consegue não só impulsionar significativamente o processo de negócio, mas também destacar o desempenho organizacional (WU *et al.*, 2006).

A *RFID* é uma ferramenta tecnológica que ajuda a expandir a *IoT*. Ela utiliza ondas de radiofrequência para transmitir informações entre objetos selecionados, promovendo a automatização na identificação e comunicação entre as coisas (SHENG; LI; ZEDADALLY, 2008).

De acordo com a estratégia de implementação de *RFID*, descrita pelos autores Lim e Koh (2009), ligando os fatores de que a tecnologia da *RFID* e o aprofundamento de alcance às informações têm avançado de forma muito rápida, o conceito de *IoT* fica cada vez mais simples de se compreender. Com isso, o assunto *IoT* vive uma fase popular de pesquisa no ramo de economia.

A *RFID* monitora diversas funções além da quantidade de produtos, prateleiras, data de vencimento, verificação para abastecimento das prateleiras, entre outras. No campo industrial, o *RFID* traz não só inúmeros benefícios para a organização, como também a redução de refugo, melhor visibilidade da Cadeia de Suprimentos, colaboração entre parceiros comerciais e o aumento das vendas (BARDAKI; KOUROUTHANASSIS; PRAMATARI, 2012).

Bardaki *et al.* (2012) projetaram um serviço de avaliação e monitoramento das melhorias habilitadas pelo *RFID* para sustentar o controle e a tomada de decisão para acontecimentos atuais e futuros. Por meio do sistema, ambos os varejistas e fornecedores serão capazes de monitorar a disponibilidade dos produtos disponíveis, sala de estoque e prateleiras regulares instaladas nos corredores das lojas. Além disso, os parceiros comerciais podem avaliar o desempenho de melhoria, com base em relatórios de vendas das prateleiras regulares e estandes, e executar uma série de atividades que envolvam o monitoramento, como observar os reabastecimentos diários de uma prateleira.

RFID é conhecido como um dos principais sensores de conexão a objetos, capaz de transferir dados instantaneamente para processamento, monitoramento e controle em Cadeias de Suprimentos e têm sido amplamente estudados em gestão de estoques (ZHOU; CHONG; NGAI, 2015).

A tecnologia vem sendo muito eficaz e seu campo é muito abrangente, como acompanhamento de bens, cobrança em pedágios, utensílios eletrodomésticos, Cadeia de Suprimentos e sistemas (ZHANG; HUANG; JO, 2015).

A *RFID* tem sido extensivamente utilizada para rastreamento de objetos em armazéns, nos quais os produtos foram marcados com as etiquetas com as informações pertinentes e necessárias para controle e gestão do processo; torna-se, dessa forma, de uso primordial na implantação e uso do *IoT*, gerando assim um controle melhor de estoque e GCS (YAN *et al.*, 2017).

2.2.2 Tecnologias *IoT*: *Middleware*

Middleware é considerado pelos autores Baker e Apon (2001) a camada de *software* que está entre o sistema operacional e o sistema de aplicação. O *Middleware* supre diversas necessidades da efetiva funcionalidade numa aplicação. Esse sistema é explorado desde 1960. Foi avaliado em ambientes heterogêneos em que o *Middleware* é constituído da integração no processamento da aplicação de *software*.

O vocábulo *Middleware* refere-se à aplicação de plataformas de *softwares* que fornecem alguns serviços de aplicações, como a Gestão da Conexão da Base de Dados, Nomeação e Serviços de Diretório e outros serviços de suporte à aplicação (DUTTA; VANDERMEER, 2011).

Os principais sistemas *Middleware* utilizados na implementação de arquiteturas com *IoT*, segundo Pérez e Gutiérrez (2014), são: *AMQP* (Protocolo Avançado de Enfileiramento de Mensagens), Serviço de Distribuição de Dados (*DDS*), Mensagens Extensíveis e Protocolo de Presença (*XMPP*) e Transporte de Telemetria do Serviço de Enfileiramento de Mensagens (*MQTT*).

AMQP é usado para comunicações de servidor para servidor (CHOI *et al.*, 2013); *MQTT* e *XMPP* são usados para comunicações do dispositivo para o servidor (CHOI *et al.*, 2013); *DDS* é empregado para comunicações de dispositivo para dispositivo (KIM; LIM; CHO, 2014).

Quanto aos quatro sistemas (protocolos ou serviços) *Middleware* mencionados, o conjunto mais extenso de *QoS* (Qualidade de Serviço) é fornecido pelo *DDS*. Alguns dos principais benefícios são: durabilidade, vivacidade, recursos limitados, confiabilidade, histórico, prazos, vida útil, dados/informações em tempo real e escalabilidade. Entre os benefícios, também foram citadas no trabalho de Ungurean *et al.* (2016) várias implementações comerciais e implementações de código aberto. Não há uma complexidade considerada alta e o sistema *Middleware* pode ser usado em sistemas embarcados com recursos limitados.

O conceito de *Middleware* é considerado amplo e fornece vários recursos (PÉREZ; GUTIÉRREZ, 2014). Comunicação é uma abstração dos detalhes de baixo nível relativos à distribuição e comunicação; o componente é baseado num modelo formal que permite o desenvolvimento de sistemas por meio da montagem de módulos de *software* reutilizáveis (componentes) desenvolvidos por outros, independentemente da aplicação que terão (KLEFSTAD; SCHMIDT; O'RYAN, 2002).

O Modelo Orientado concentra-se principalmente em alcançar um processo de desenvolvimento sustentável em termos de custos, tempo de desenvolvimento e qualidade, combinando o componente *Middleware* com modelos de desenvolvimento de *software* (GOKHALE *et al.*, 2008); adaptável, permite a reconfiguração de aplicativos distribuídos para modificar funcionalidades, uso de recursos, configurações de segurança etc. (BLAIR *et al.*, 2001).

O Contexto Ciente é capaz de interagir com o ambiente em que os aplicativos distribuídos executam e tomam ações para fazer alterações no tempo de execução (ROUVOY *et al.*, 2009).

Com os sistemas *Middleware*, é possível transportar informações na *internet*, permitindo mais uma solução para a *IoT*. Com o intuito de mensurar o desempenho de diferentes condições de operação, é possível a utilização das seguintes métricas: uso do CPU, memória, discagem, carga de rede, porcentagem de transações com falha ao longo do tempo, entrada e saída de *bytes* recebidos e transmitidos por

segundo (banda larga), taxa de transferência de solicitações, números de incidentes relativos ao *Middleware* (erros), entre outros. Em razão de os sistemas rodarem com recursos limitados, o foco são as métricas que mensurem a utilização de recursos em determinadas condições de operação (UNGUREAN; GAITAN; GAITAN, 2016).

Segundo Ungurean *et al.* (2016), o sistema *Middleware*, baseado na padronização de Protocolo Avançado de Enfileiramento de Mensagens (*AMQP*), é usado para distribuir informações. Um modelo de trabalho que use o sistema *Middleware* adquire configurações automáticas com baixa intervenção humana, bem como mecanismos efetivos para assegurar a confiabilidade e segurança em tempo real.

2.2.3 Tecnologias *IoT*: Computação em Nuvem

A computação em nuvem pode ser considerada uma nova geração da computação, apresentando uma maneira eficiente de maximizar e flexibilizar os recursos computacionais. É uma forma de computação na qual recursos relacionados com Tecnologia da Informação (*IT*) são fornecidos como um serviço, permitindo que usuários acessem serviços, como a nuvem, habilitados pela *internet*, sem conhecimento, experiência nem controle sobre a infraestrutura da tecnologia (MIRZAEI, 2008).

Segundo Gong *et al.* (2010), a computação em nuvem é baseada em TCP/IP (conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede) de alto desenvolvimento e integração de tecnologias computacionais, tais como rápido processador, memória extensa, rede de elevada velocidade e sistema de arquitetura confiável.

A computação em nuvem é um grande paradigma do futuro que disponibiliza muitas vantagens nos aspectos econômicos - como a economia de tempo -, capacidades computacionais flexíveis e poder de computação ilimitado. Os dados são transferidos, processados e armazenados por fornecedores de nuvem externos (KOK, 2010).

Há cinco características que definem a abordagem da computação em nuvem: infraestrutura de computação dinâmica, questionamentos centrados em serviços de TI, modelo de uso baseado em autoatendimento, plataforma mínima ou autogerenciada e faturamento baseado em consumo (GONG *et al.*, 2010).

As nuvens são um grande aglomerado de recursos virtualizados, de fácil utilização e acesso. Os serviços da computação em nuvem permitem que indivíduos e companhias usufruam de *softwares* remotos de terceiros e componentes de *hardware*, que usem e mantenham recursos remotamente, com confiabilidade e baixo custo. Esses serviços fornecem uma interface abstrata que reúne recursos para obter uma utilização eficiente do sistema e concede aos usuários a expansão da escala para resolver problemas maiores, ao viabilizar que o *software* do sistema seja configurado conforme necessário para os requisitos individuais da aplicação (RAO *et al.*, 2012).

2.2.4 Tecnologias *IoT*: Redes e Sensores sem Fio (*WSN*)

Os avanços recentes das redes de sensores sem fio permitiram o desenvolvimento de nós de sensores multifuncionais de baixo custo e baixo consumo de energia que são pequenos em tamanho e se comunicam sem restrições em distâncias curtas. Os nós de sensores consistem em sensores que realizam o processamento de dados e possuem componentes de comunicação (AKYILDIZ *et al.*, 2002).

As redes de sensores representam uma otimização sobre os sensores tradicionais, utilizando principalmente a comunicação por difusão paradigma. Essas redes tendem a ser autônomas e requerem um elevado grau de cooperação para executar tarefas configuradas para a rede (AKYILDIZ *et al.*, 2002).

Cada nodo das redes é equipado com diversos tipos de sensores, os quais podem ser: sísmico, infravermelho, vídeo-câmera, temperatura, acústico, pressão e calor. Os nodos estão agrupados e possuem a função de detectar ocorrências, verificar e considerar se deve transpassar o resultado dos outros nodos. Os sensores

podem ser aplicados para verificar diversas condições, como: temperatura; pressão; umidade; níveis de ruídos; iluminação; movimento veicular; velocidade de um objeto, entre muitos outros (LOUREIRO *et al.*, 2003).

2.2.5 *IoT* na Cadeia de Suprimentos

A Identificação por Radiofrequência (*RFID*) é uma das tecnologias que embasam a *Internet* das Coisas (*IoT*). Por meio de ondas de rádio, a tecnologia *RFID* é capaz de promover a comunicação em tempo real de objetos a distância. Essa identificação automática e captação de dados aprimora a rastreabilidade e a visibilidade no decorrer da Cadeia de Suprimentos, e dessa forma vem sendo uma solução promissora para erros de inventário (REKIK; SAHIN, 2006).

A *IoT* é uma infraestrutura dinâmica de rede global com capacidade de autoconfiguração, na qual “coisas” físicas e virtuais possuem identidades, atributos físicos, personalidades virtuais e usam interfaces inteligentes (GUILLEMIN; FRIESS, 2009).

A *IoT* facilitou a comunicação entre os clientes e fornecedores, por meio da otimização dos níveis de serviço e redução de custos logísticos, tornando possível para uma empresa tomar conhecimento do que está acontecendo no mundo real e sincronizar os fluxos de materiais com as informações por meio da *IoT* (LOU *et al.*, 2011).

A *IoT* proporciona novos níveis de visibilidade, agilidade e adaptabilidade na Cadeia de Suprimentos, e promove uma integração e habilitação de tecnologias de comunicação de informação, fazendo com que produtos manufaturados passem a fazer parte da *Internet* estendida de modo que serão marcados e indexados pelos fabricantes durante a produção e os clientes poderão ler *tags* por meio de aplicativos móveis e usar as informações conectadas aos produtos para informar suas compras, uso do produto e descarte (ZHOU; CHONG; NGAI, 2015).

Para Zhou *et al.* (2015), a *IoT* pode permitir que a máquina tome decisões com mínima ou nenhuma intervenção humana, simplificando seus processos e tarefas, ao

reduzir o erro de dados, promover a melhoria na inteligência de negócios, minimizar atrasos na coleta de dados e compartilhar rapidamente informações.

A *IoT* possibilita a comunicação entre humanos e objetos e uma coordenação autônoma entre objetos enquanto estão sendo armazenados ou transportados entre diferentes entidades da Cadeia de Suprimentos. Esses novos recursos oferecem grandes oportunidades para lidar de forma mais eficaz com os desafios encontrados na cadeia (BEN DAYA; HASSINI; BAHROUN, 2017).

Com a inserção da *IoT* no GCS, Dhumale, Thombare e Bangare (2017) relataram alguns objetivos pretendidos, como: satisfazer os requisitos dos clientes, aumentar a venda de produtos, fornecer o melhor serviço aos consumidores e melhorar a visibilidade da entrega do produto com a Cadeia de Suprimentos. A *IoT* é capaz de permitir um gerenciamento remoto das operações da cadeia, melhor coordenação com parceiros e pode fornecer informações mais precisas para a tomada de decisões mais eficazes (BEN DAYA; HASSINI; BAHROUN, 2017).

A *IoT* fornece avisos de correções antecipados de situações internas e externas, por fornecimento de visibilidade sem precedentes de todos os aspectos da Cadeia de Suprimentos, permitindo que as empresas respondam rapidamente a mudanças por meio de operações internas eficazes e colaboração com fornecedores e clientes (BEN DAYA; HASSINI; BAHROUN, 2017).

As tecnologias da *IoT* são fundamentais para lidar com desafios ligados à cadeia, como variações imprevistas de fornecimentos, produtos perecíveis, segurança dos produtos e requisitos de sustentabilidade. A *IoT* simula e otimiza os processos por meio de sistemas de *software* (PISHDAR *et al.*, 2018).

A computação móvel, a análise imediata de dados e serviços em nuvem são algumas das tecnologias que compõem a *IoT*; a combinação dessas tecnologias está moldando a condução de entradas e saídas dos processos da Cadeia de Suprimentos e reduzindo gastos e tempo (PISHDAR *et al.*, 2018).

2.3 FRAMEWORKS

Um *Framework* pode ser adaptado facilmente de acordo com as necessidades pretendidas, o que envolve públicos distintos, grau de dificuldade do problema, tempo para a compreensão de dados e diversas outras questões (CRAIK; LOCKHAR, 1972).

A importância do uso de *Frameworks* em organizações está gradativamente se tornando comum. A construção desses acontece, na maioria dos casos, para garantir o reuso de diversas aplicações em diferentes casos; além disso, a partir do momento em que um elemento se tornar reusável, é possível que haja facilidade da adaptação de aplicações em diferentes contextos, com o foco na resolução de problemas (GAMMA *et al.*, 1995).

De acordo com Lewis (1995), a definição de *Frameworks* pode ser feita por uma arquitetura de *software* semidefinida que sucede a interconexão e união de componentes subjetivos, com foco em criar uma infraestrutura de apoio para a otimização de aplicações diversas.

Modelos e *Frameworks* são essenciais para ajudar a compreensão de teorias e conceitos abstratos, mas, para ser útil na prática, o modelo ou *Framework* deve ser aplicável nas condições que descreve, analisa ou prevê que num teste empírico de um modelo é essencial para comprovar a sua validade (CLARKSON, 1995).

Um *Framework* pode ditar a arquitetura de um negócio ou aplicação, não só definindo sua estrutura geral, divisão de classes e objetos, como também auxiliando o encontro das principais responsabilidades existentes numa linha de ação ou controle. O *Framework* pode também auxiliar o feitiço da predefinição do *design* de parâmetros, para que o responsável pela implementação do processo em questão possa concentrar-se nos detalhes de aplicação. A estrutura de um *Framework* captura as decisões comuns ao domínio da aplicação, enfatizando a reutilização de *designs* (GAMMA *et al.*, 1995).

Um *Framework* pode ser considerado um conjunto de princípios básicos e pressupostos (POPPER, 1996).

Para Mattsson (1996), o foco de um *Framework* é o bom desenvolvimento de uma arquitetura para a obtenção máxima de sua reutilização, isto é, o *Framework*

deve ser facilmente adaptável, constituinte de uma série de categorias contemplativas e autênticas, tendo alta possibilidade de especificação.

Segundo os autores Fayad *et al.* (1999) e Pinto (2000), existem vantagens que se destacam quando o uso de *Frameworks* é feito, como a modularidade, extensibilidade e reuso de elementos, resultando, assim, na otimização do tempo em dispor de soluções no mercado em geral.

Um *Framework* possui diversas funcionalidades como definir a gestão e limitação de determinada situação; realizar comparativos em muitas situações; apoiar o desenvolvimento de procedimentos, métodos, técnicas e ferramentas; notificar descobertas a uma ampla comunidade (ex.: acadêmicos, gestores de indústria) e fazer a descrição do contexto, bem como discutir a confiabilidade de algo novo. Os autores complementam afirmando que *Frameworks* são capazes de desdobrar assuntos complexos, de maneira que possam ser devidamente analisados e estudados (SHEHABUDDEEN; PROBERT; PHAAL, 2000).

Tomhave (2005) discorre que um “Modelo” tem por definição a representação de elementos como variáveis, processos, conceitos, relacionamentos, práticas, processos e valores. Diferentemente de um *Framework* que, além de criar um modelo, proporciona orientações específicas para a execução dos elementos mencionados.

Para Mishra e Matthew (2006), desenvolver uma estrutura *Framework* permite novas formas de identificação dos fenômenos e oferece conclusões por meio de informações dinâmicas e sólidas, facilitando a transcrição de ideias.

Para Kitson, Malone, Harvey e McCormack (2008), o *Framework* é uma descoberta útil e transformadora para muitos pesquisadores que desejam emoldurar suas pesquisas e novos conhecimentos, pois é uma estrutura que facilita a compreensão de novos fatores e a leitura conceitual.

De acordo com o estudo de Zouca (2010), a definição geral de *Framework* consiste na relação pré-definida de um conjunto de componentes independentes, com foco na elaboração de métodos e posteriormente modelos efetivos para a construção ou gerenciamento de processos.

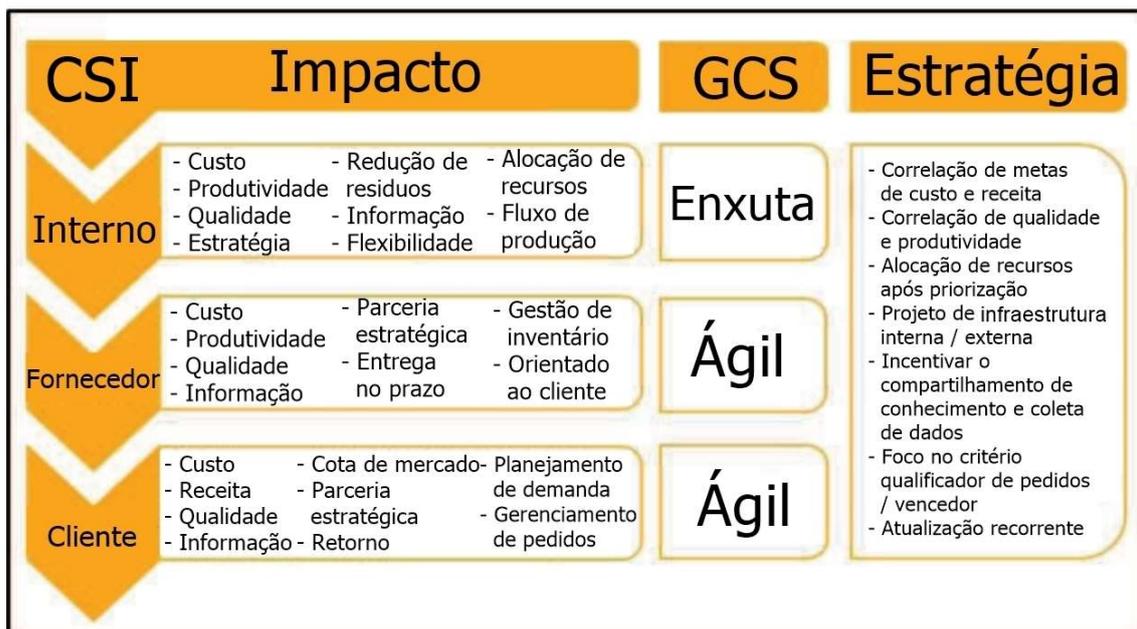
2.3.1 *Framework* para tomadas de decisões estratégicas

Um *Framework* estratégico pode influenciar positivamente o desempenho da empresa. Empregar sinergias internas e externas, na formulação da estratégia de negócios e no relatório para a Cadeia de Suprimentos, afeta tanto as medições de desempenho quanto a parceria estratégica que a empresa forja. O valor agregado de se empregar o *Framework* proposto por Burta (2018), para projetar a estratégia de negócios de uma empresa, está em abordar os principais direcionadores de desempenho de maneira agregada.

O estudo teve como objetivo a construção de um *Framework* geral, baseado em extensa literatura e estudos de caso, sem levar em consideração as necessidades de atribuir pesos de medida, indicador ou significância aos fatores envolvidos. A correlação empírica entre medidas e indicadores de desempenho significa que a administração pode decidir as prioridades estratégicas com melhores estimativas dos resultados.

Burta (2018) propõe, com base no conhecimento coletado da literatura e exemplos práticos de empresas de sucesso, o *Framework* para interconectar fatores, com foco nos desempenhos financeiro e de Cadeia de Suprimentos.

Figura 3 – *Framework* para a tomada de decisão estratégica



Fonte: Adaptada de Burta (2018).

Com base nos níveis de Cadeia de Suprimentos Inteligente (CSI), propõem-se os fatores de impacto mais significativos, o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) relevante e as etapas de criação e atualização da estratégia de negócios.

Ainda segundo Burta, uma estrutura tão ampla não é um modelo feito sob medida e as empresas devem adaptar fatores de influência qualitativa e quantitativa às suas especificidades (por exemplo nacional, industrial, cultural corporativo etc.), a fim de se alcançar o melhor resultado.

Foram selecionados como ponto de partida os três níveis de CSI, pois o valor agregado é o diferenciador mais adequado para os fatores de impacto subsequentes. A integração de uma parte externa requer uma estrutura interna estabelecida, garantindo que a escolha da oferta de parceiro e cliente seja adequada às capacidades da Cadeia de Suprimentos.

As estratégias GCS - enxuta e ágil - estão correlacionadas com fatores de impacto. Estratégias enxutas são alimentadas, o que é um resultado direto de clientes e fornecedores que compartilham informações com a empresa. Estratégias ágeis dependem da contribuição de fornecedores e clientes, já que é a principal orientação para se obter uma resposta rápida e direta à mudança.

"*Leagility*" é frequentemente encontrado na literatura recente como um conceito que abrevia as estratégias enxutas e ágeis, como uma empresa preparada para alternar entre as duas, conforme as necessidades sinalizadas pelos fornecedores e clientes (BURTA, 2018).

A autora listou sete direções para a atualização e definição da estratégia corporativa. Correlacionando-se custos e recursos, questionou-se que a estratégia da empresa não trata separadamente os fatores de impacto e, portanto, pode-se avaliar qual deles exerce maior influência. Uma estratégia equilibrada de longo prazo pode estabelecer períodos em que o custo domina a estratégia e quando a receita é a direcionadora das decisões. Se os fatores que afetam os dois não forem tratados de forma independente, o risco de se negligenciar um desses dois alvos é bastante reduzido.

Correlacionar a qualidade e a produtividade produz os mesmos benefícios da primeira direção estratégica, se a empresa se concentrar em seus *drivers* intermediários. Possui a capacidade de calcular entre os alvos de qualidade e

produtividade para se alcançar uma produção que satisfaça as necessidades do cliente.

A alocação de recursos é uma direção estratégica que usa a entrada das duas primeiras direções para tomar as melhores decisões e se preparar para as expectativas de longo prazo. O projeto da infraestrutura para a CSI consome os recursos alocados e mantém juntos o compartilhamento de informações, o conhecimento e a coleta de dados, garantindo insumos atualizados para a produção e a manutenção de dados históricos para apoiar a tomada de decisões estratégicas.

A autora acentua a importância de se estabelecer o qualificador de pedidos e os critérios de vencimento do pedido, um esclarecimento que define os limites da estratégia da empresa. Se esses pontos estratégicos forem continuamente atualizados, a empresa projeta e trabalha com a melhor correlação entre as estratégias da Cadeia de Suprimentos e de negócios.

2.3.2 *Framework* multidimensional abrangente para avaliar o desempenho de Cadeias de Suprimentos Sustentáveis

Ahi *et al.* (2016) sugerem um *Framework* capaz de endereçar qualquer número de características. Esses indicadores também devem abordar os principais participantes de toda a Cadeia de Suprimentos, como fornecedores, distribuidores e clientes. Essa ênfase em toda a Cadeia de Suprimentos é necessária para garantir que nenhum impacto importante seja perdido.

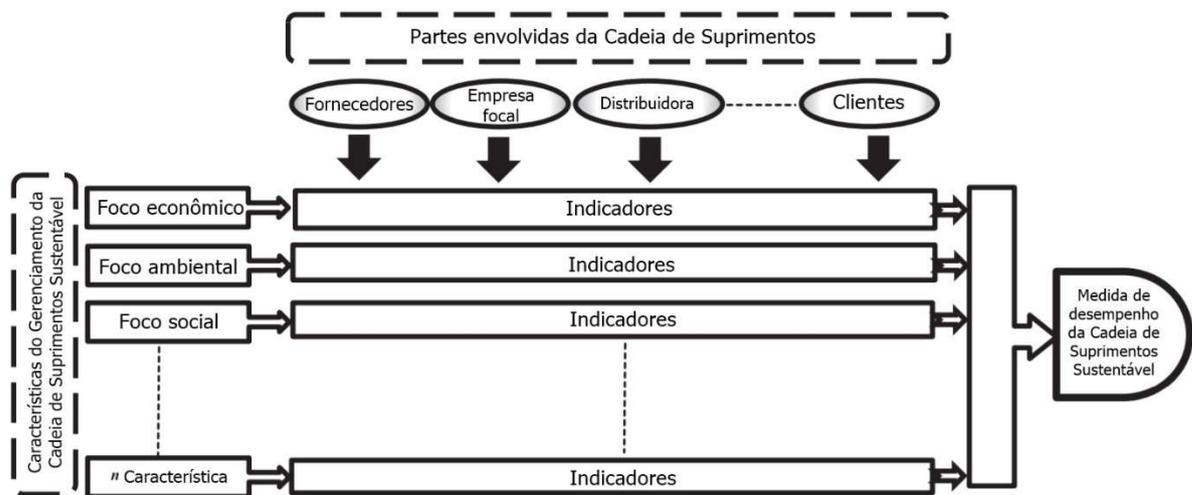
Os autores afirmam que existem fatores que tanto permitem quanto inibem o progresso em direção à sustentabilidade. Isso enfatiza a necessidade de incluir todos os indicadores relevantes na avaliação do desempenho de sustentabilidade. Foi conceituado que qualquer Cadeia de Suprimentos e os respectivos atores dentro dela terão alguma capacidade para superar os desafios de sustentabilidade que enfrenta, conforme determinado por meio da aplicação do *Framework*.

Sob essa luz, os fatores facilitadores são: aumentar a capacidade da Cadeia de Suprimentos para avançar em direção à sustentabilidade e superar seus principais

desafios. Os fatores inibidores, por sua vez, representam desafios para a Cadeia de Suprimentos e/ou reduzem sua capacidade de suportar e superar tais desafios.

Com base no exposto, a Figura 4 ilustra a estrutura abrangente do *Framework* proposto.

Figura 4 - Estrutura do *Framework* proposto para medir o desempenho da Cadeia de Suprimentos Sustentável



Fonte: Adaptada de Ahi *et al.* (2016).

O Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos Sustentável (GCSS) caracteriza-se conjuntamente pelas principais características de sustentabilidade empresarial e GCS (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

A estrutura baseia-se no princípio de que, se a capacidade da Cadeia de Suprimentos (CS) exceder os desafios colocados pelos inibidores, então está progredindo em direção à sustentabilidade. Caso contrário, sua posição de sustentabilidade irá regredir.

Com base nas características, nos participantes e nos indicadores, o modelo proposto fornece uma base para medir o desempenho do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos Sustentável. Isso pode, por sua vez, alimentar o sistema de aferição de desempenho mais amplo de uma organização e fornecer uma base para a educação, comunicação e tomada de decisão em torno dele.

As 13 principais características da sustentabilidade empresarial e do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos são listadas como focos econômico, ambiental, social, voluntário, de resiliência, de longo prazo, de partes interessadas, fluxo, coordenação, relacionamento, valor, eficiência e desempenho. Com base nessa informação, a análise e avaliação do desempenho do GCSS podem ser realizadas numa abordagem integrada de 13 dimensões (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Descrições detalhadas e exemplos de indicadores abordando as principais características serão apresentadas a seguir.

Foco Econômico inclui linguagem relativa à dimensão econômica da sustentabilidade. Exemplos de indicadores: custo de sustentabilidade; custo total da cadeia de suprimentos; receitas operacionais (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco Ambiental inclui linguagem relativa à dimensão ambiental da sustentabilidade. Exemplos de indicadores: emissões de ar; uso de energia; redução de resíduos (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco Social inclui linguagem relacionada com a dimensão social da sustentabilidade. Exemplos de indicadores: bem-estar social; porcentagem de emprego proveniente de comunidades locais; frequência de lesão no tempo perdido (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco Voluntário inclui referência à natureza voluntária da sustentabilidade dos negócios. Exemplos de indicadores: participação em programas voluntários; número de voluntariado individual; horas de voluntariado (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Resiliência inclui referência à resiliência, esta definida como uma capacidade de recuperar ou ajustar-se facilmente ao infortúnio ou mudança. Exemplos de indicadores: redução de risco; riscos percebidos totais; exposição ao risco (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Longo Prazo inclui referência à natureza de longo prazo da sustentabilidade. A referência ao gerenciamento do fim da vida útil, a reutilização, a recuperação de produtos, a logística reversa, a Cadeia de Suprimentos de ciclo fechado e o ciclo de vida do produto foram tomados como indicações de um foco de longo prazo. Exemplos de indicadores: quantidade de saída não relacionada com o produto retornada ao processo por reciclagem ou reutilização; número de produtos

que podem ser reutilizados ou reciclados; taxa de reutilização (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Partes Interessadas inclui definição, referência explícita a partes interessadas, incluindo (mas não limitando a) clientes, consumidores e fornecedores. Exemplos de indicadores: satisfação dos clientes; retorno do consumidor; nível de reclamação do cliente (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Fluxo inclui linguagem referente aos fluxos de materiais, serviços ou informações. A referência à Cadeia de Suprimentos foi considerada como se se referisse implicitamente a essa área de foco. Exemplos de indicadores: quantidade total de refugo; capacidade de gerenciar fluxos reversos; gerenciamento de fluxos de material reverso para reduzir o transporte (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Coordenação inclui referência à coordenação dentro da organização ou entre organizações. A referência à Cadeia de Suprimentos, ao ciclo de vida do produto ou atividades entre os canais foi considerada como se se referisse implicitamente a esse foco/área. Exemplos de indicadores: cooperação com nossos fornecedores para *design* ecológico; para aumentar o nível de coordenação de decisões de planejamento e fluxo de mercadorias com fornecedores, incluindo investimentos dedicados (por exemplo, sistemas de informação, capacidade/ferramentas/equipamentos dedicados, força de trabalho dedicada); para melhorar as oportunidades de reduzir o desperdício por meio da cooperação com outros atores (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Relacionamento inclui referência às redes de relacionamentos internos e externos. Isso inclui mencionar a coordenação dos processos de negócios interorganizacionais. Exemplos de indicadores: taxa de serviço pós-venda; relações colaborativas; interação e harmonia coexistem com sistemas naturais em sistemas de produção e consumo (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Valor inclui referência à criação de valor, considerando-se o aumento do lucro ou participação de mercado e a conversão de recursos em produtos utilizáveis. Exemplos de indicadores: crescimento de participação de mercado; valor presente líquido; valor bruto adicionado (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Eficiência inclui referência à eficiência, considerando-se uma redução nos insumos. Exemplos de indicadores: eficiência de recursos; eficiência global obtida

por meio de práticas de produção sustentáveis; produtividade/eficiência (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

Foco de Desempenho inclui referência ao desempenho, considerando-se a aplicação de medidas de desempenho, melhorando desempenho, melhorando a capacidade competitiva, monitorando e alcançando metas. Exemplos de indicadores: desempenho operacional; capacidade de utilização; aumento da competitividade (AHI; JABER; SEARCY, 2016).

2.3.3 Análise de desempenho do sensor baseado em *IoT*, processamento de *Big Data* e modelo de aprendizado de máquina para o sistema de monitoramento em tempo real na fabricação automotiva

Syafrudin *et al.* (2018) propuseram um sistema de monitoramento em tempo real que utiliza sensores baseados em *IoT*, processamento de *Big Data* e um modelo híbrido de previsão.

Com o aumento da quantidade de dados capturados durante o processo de manufatura, os sistemas de monitoramento estão-se tornando fatores importantes na tomada de decisões para o gerenciamento. Tecnologias como os sensores baseados na Internet das Coisas (*IoT*) podem ser consideradas uma solução para fornecer monitoramento eficiente do processo de fabricação.

Em primeiro lugar, os autores desenvolveram um sensor baseado em *IoT* que coleta dados de temperatura, umidade, acelerômetro e giroscópio. As características dos dados do sensor gerados pela *IoT* do processo de fabricação são: em tempo real, grandes quantidades e tipo não estruturado. A plataforma de processamento de *Big Data* proposta utiliza o *Apache Kafka* como uma fila de mensagens, o *Apache Storm* como um mecanismo de processamento em tempo real e o *MongoDB* para armazenar os dados do sensor do processo de fabricação.

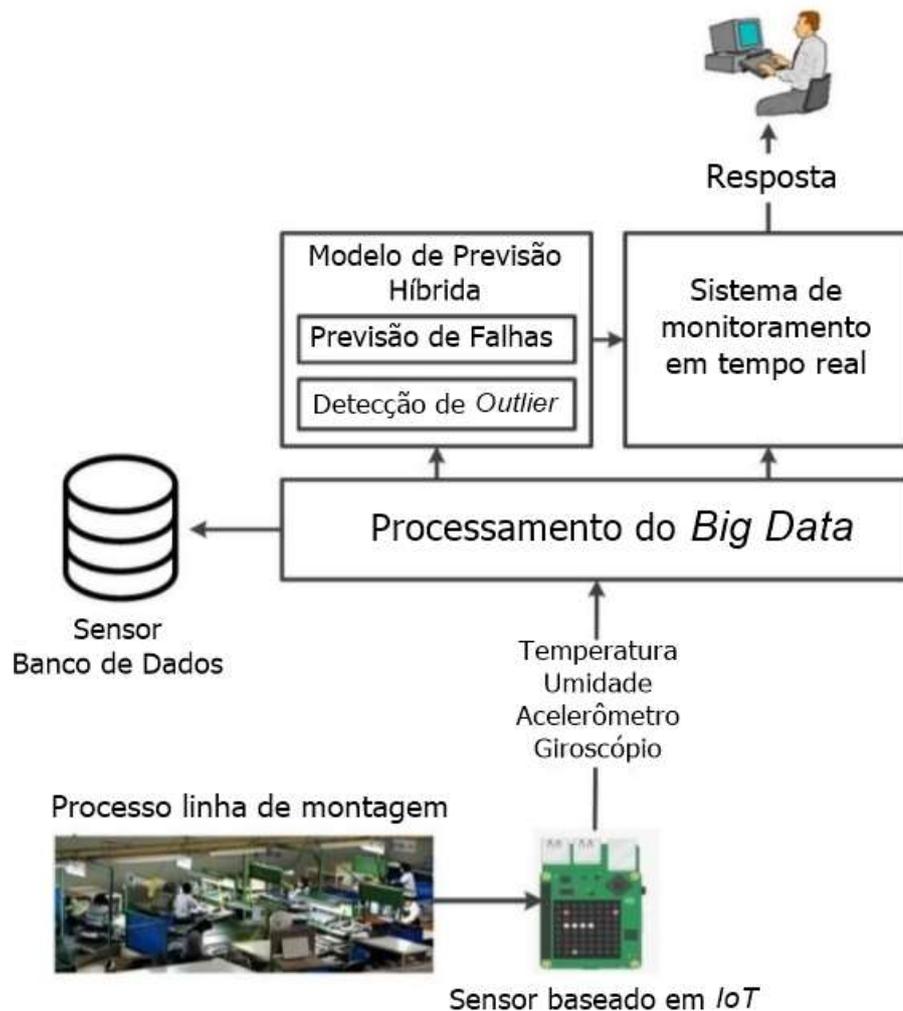
Em segundo lugar, para o modelo de previsão híbrido proposto, o Agrupamento Espacial Baseado em Densidade de Aplicações com Ruído (DBSCAN).

A detecção de *outliers* (pontos localizados fora das regiões densas) e a classificação *Random Forest* (Algoritmo de aprendizagem) foram usadas para remover os dados de sensores *outliers* e fornecer detecção de falhas durante o processo de fabricação. O modelo proposto por Syafrudin *et al.* (2018) foi avaliado e testado numa linha de montagem de fabricação automotiva na Coreia.

O sistema de monitoramento em tempo real foi desenvolvido para não só ajudar os gerentes a monitorarem melhor o processo de linha de montagem numa fabricação automotiva, como fornecer um aviso antecipado quando uma falha for detectada.

Como pode ser visto na Figura 5, os sensores baseados em *IoT* são conectados à mesa de uma estação de trabalho na linha de montagem. Tal sistema utiliza sensores baseados em *IoT*, processamento de *Big Data* e um modelo de previsão híbrido. O modelo de previsão híbrido consiste em detecção atípica baseada em *cluster* e num modelo de classificação baseado em aprendizado de máquina.

Figura 5 – Arquitetura do sistema de monitoramento em tempo real num processo de linha de montagem



Fonte: Adaptada de Syafrudin *et al.* (2018).

Os sensores baseados em *IoT* consistem em temperatura, umidade, acelerômetro e sensores de giroscópio. Os dados gerados pelo sensor por intermédio da *IoT* são transmitidos sem fio para um servidor em nuvem no qual o sistema de processamento de *Big Data* está instalado.

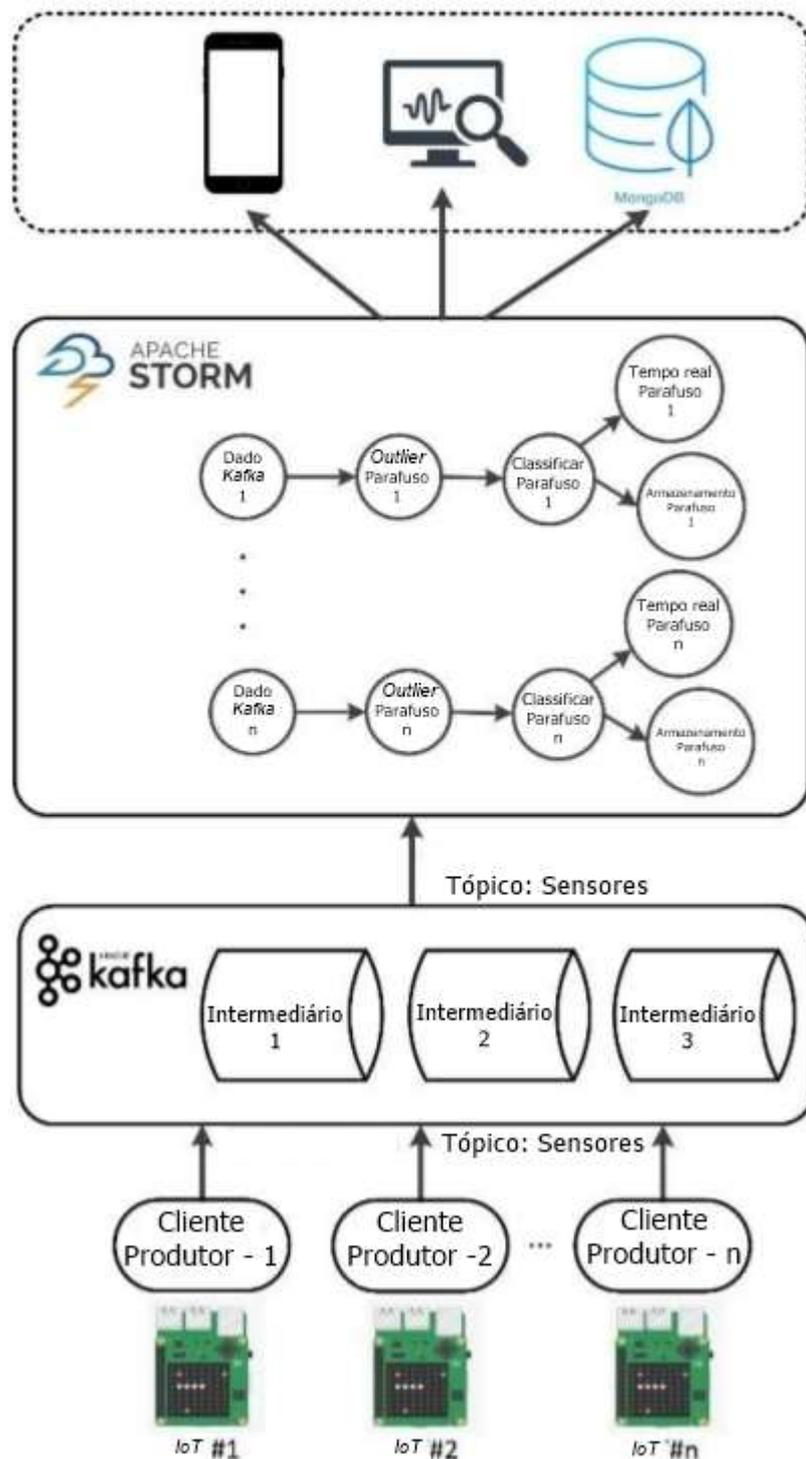
O sistema permite que ele mesmo processe grandes quantidades de dados do sensor rapidamente antes de serem armazenados no banco de dados do *MongoDB*. Um método de detecção atípica baseado em *cluster* é utilizado para filtrar *outliers* dos dados do sensor.

Além disso, um modelo de classificação baseado em aprendizado de máquina de análise de dados é aplicado para prever falhas fornecidas pelos dados do sensor atual durante o processo da linha de montagem.

Por fim, o histórico completo dos dados do sensor, como os de temperatura, umidade, acelerômetro e giroscópio, é apresentado ao gerente em tempo real por meio de um sistema de monitoramento baseado na *Web*, além dos resultados da previsão de falhas.

A Figura 6 ilustra o projeto do sistema para o processamento de *Big Data* proposto para monitoramento em tempo real. Os dados do sensor do dispositivo sensor baseado em *IoT* são transmitidos sem fio usando-se um programa baseado em *Python* desenvolvido para servir como o “produtor” do servidor *Kafka*.

Figura 6 – Projeto de sistema para processamento de *Big Data*



Fonte: Adaptada de Syafrudin *et al.* (2018).

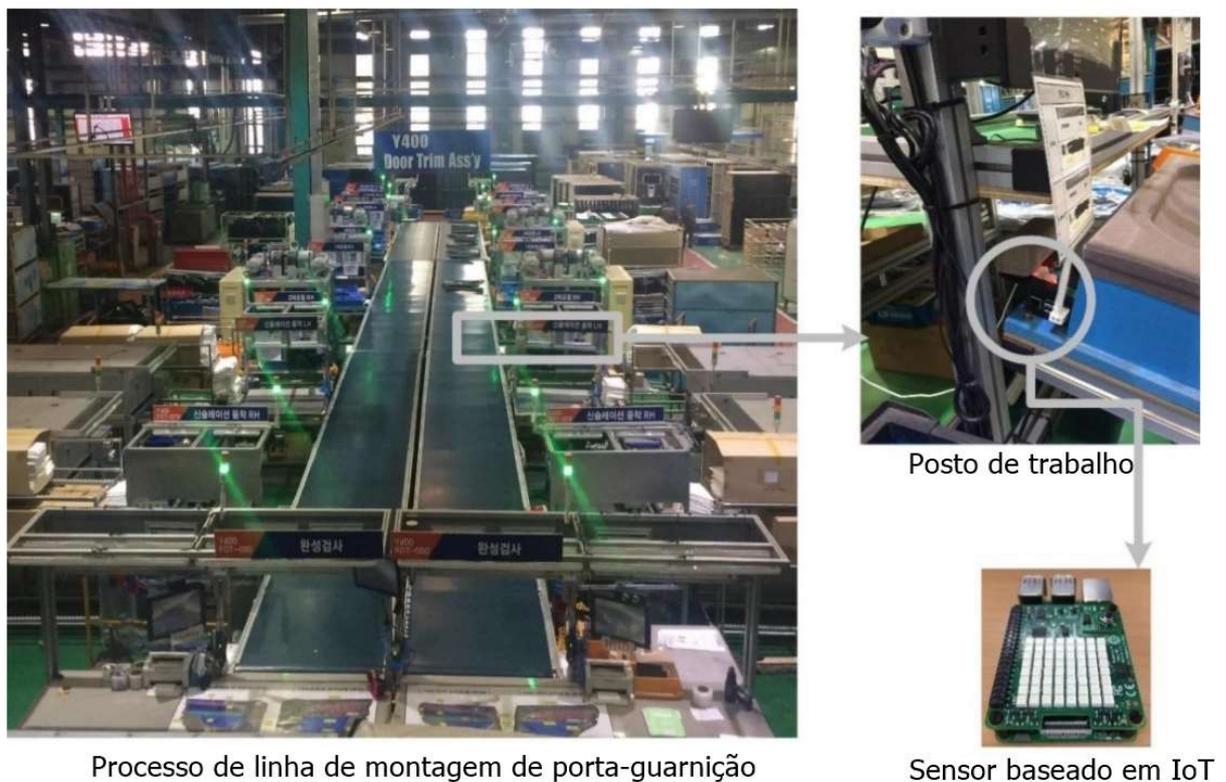
O sistema de processamento de *Big Data* proposto pelos autores utiliza o *Apache Kafka*, o *Apache Storm* e o *MongoDB*. O *Apache Kafka* é um sistema de fila de mensagens com baixa latência, alta taxa de transferência e tolerância a falhas, capaz de publicar fluxos de dados. O *Apache Storm* é um sistema de processamento

de dados paralelo em tempo real com escalabilidade horizontal, tolerância a falhas, processamento de dados garantido e pode processar grandes volumes de fluxos de dados de alta velocidade.

O cliente “produtor” publica fluxos de dados para “tópicos” de *Kafka* distribuídos em um ou mais nós/servidores de *cluster* chamados “intermediários”. Os fluxos publicados de dados do *Kafka* são então processados pelo *Storm* em paralelo e em tempo real. A detecção e classificação de *outliers* são implementadas dentro do *Storm*. Os dados do sensor e os resultados da classificação são armazenados no *MongoDB* e apresentados num sistema de monitoramento baseado na *web* em tempo real (SYAFRUDIN *et al.*, 2018).

O sistema foi aplicado para monitorar o processo da linha de montagem produzindo porta-guarnição numa fábrica de automóveis na Coreia, como se mostra na Figura 7.

Figura 7 - A implementação do caso real do sensor proposto baseado em *IoT* numa linha de montagem



Fonte: Adaptada de Syafrudin *et al.* (2018).

Os resultados experimentais mostraram que o sistema é escalável e pode processar uma grande quantidade de dados contínuos do sensor de forma mais eficiente do que os modelos tradicionais (SYAFRUDIN *et al.*, 2018).

Além disso, o desempenho do sensor baseado em *IoT* foi analisado pelos autores com várias métricas, como atraso na rede, CPU e uso de memória. Para todos os cenários experimentais, o sensor baseado em *IoT* forneceu uma solução eficiente, uma vez que coletou e transmitiu com sucesso os dados dentro de um tempo aceitável com baixo custo computacional.

Os resultados mostraram que os sensores baseados em *IoT* e o sistema de processamento de *Big Data* proposto são suficientemente eficientes para monitorar o processo de fabricação. Além disso, o modelo de predição híbrido proposto tem melhor precisão de previsão de falhas do que outros modelos com os dados do sensor como entrada (SYAFRUDIN *et al.*, 2018).

A detecção de falhas é uma questão importante no processo de fabricação, pois pode identificar se o processo está funcionando normalmente ou de forma anormal. Foi proposto um modelo híbrido de previsão que consiste na detecção de *outliers* baseado em DBSCAN e na classificação de *Random Florest*. O DBSCAN foi usado para separar *outliers* dos dados normais do sensor, enquanto o *Random Forest* foi utilizado para prever falhas – tendo os dados do sensor como entrada. Os resultados mostraram que o modelo híbrido de predição proposto é eficaz (SYAFRUDIN *et al.*, 2018).

2.3.4 *Framework* de percepção situacional baseado em *IoT* para gerenciamento de projetos em tempo real

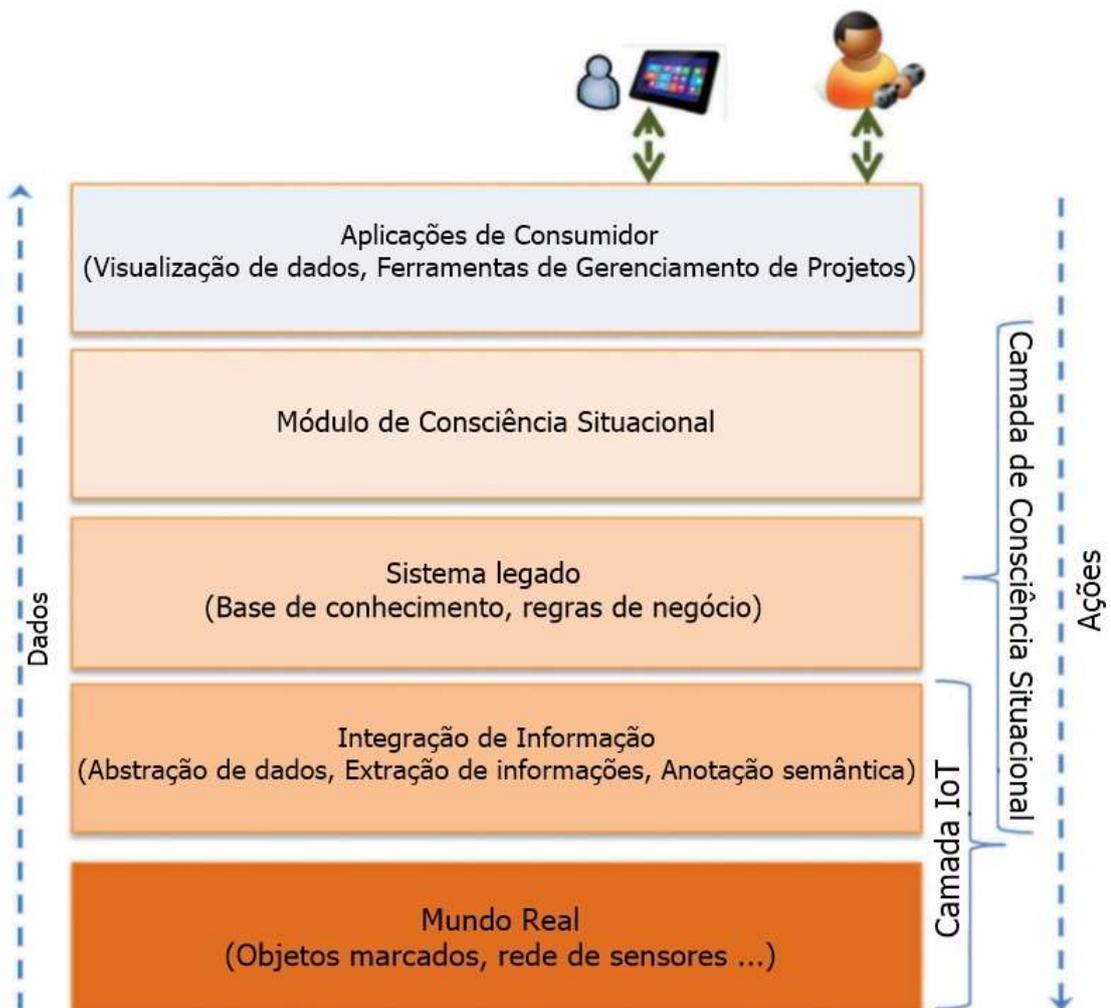
Ghimire *et al.* (2016) discutem os desafios e problemas na gestão de projetos e descrevem as tecnologias capacitivas para computação situacional. O objetivo foi desenvolver um *Framework* que considera o cenário de gerenciamento de projetos na indústria da construção, a fim de ajudar os supervisores envolvidos com uma visão profunda da situação do projeto.

O *Framework* leva em consideração a complexidade de uma condição dinâmica de projeto e comunicação em várias camadas, devido ao envolvimento de várias partes interessadas, para fornecer uma arquitetura robusta e uma solução baseada em tecnologias de ponta (GHIMIRE *et al.*, 2016).

Tal solução permite entregas do projeto no prazo, dentro do orçamento e com qualidade aceitável e, além disso, a detecção de falhas, desvios planejados e respostas em tempo real.

A Figura 8 ilustra o *Framework* em camadas baseado em *IoT* proposto pelos autores.

Figura 8 - Representação em camadas do *Framework* de conscientização situacional baseado em *IoT*



A camada mais baixa representa o mundo real e associa objetos inteligentes e redes de sensores. Esses são produtores contínuos de dados e também onde ações automatizadas são realizadas quando forem necessárias (GHIMIRE *et al.*, 2016).

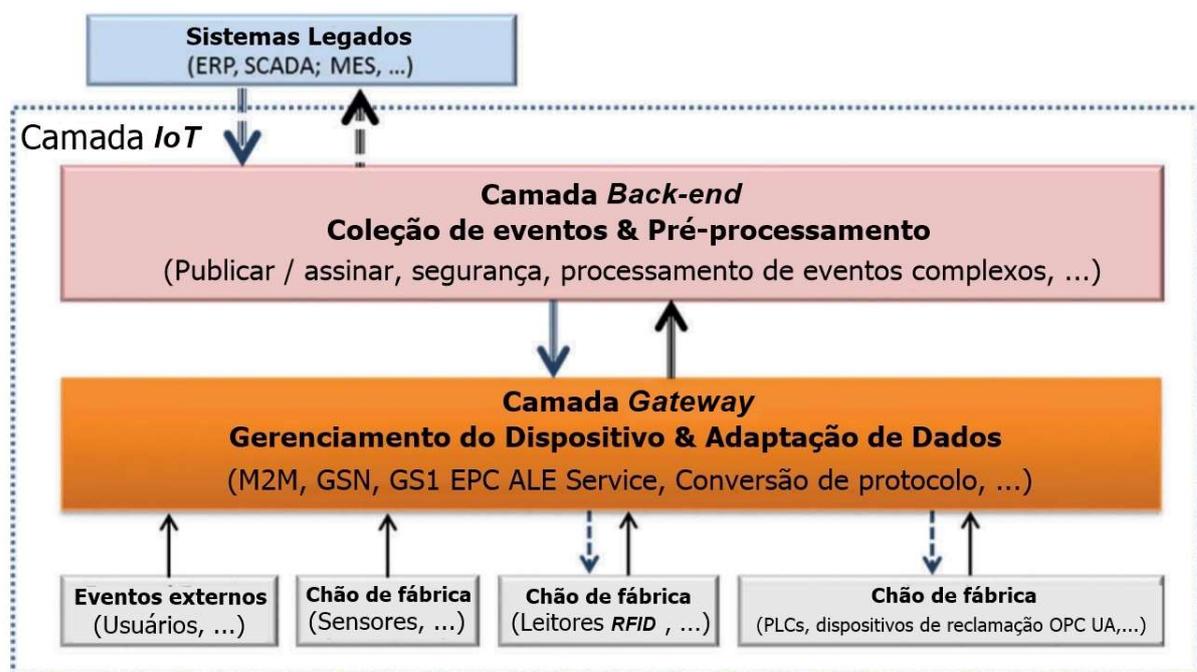
A camada de integração de informações e a camada do sistema legado são responsáveis pela modelagem da representação do mundo real no modelo de computação. Essa camada também é usada para a integração de dados obtidos do mundo real no modelo computacional (GHIMIRE *et al.*, 2016).

A camada acima é para a implementação e integração do módulo de consciência situacional. Esse módulo então processa e interpreta os dados coletados da camada inferior para produzir informações úteis.

As implementações em cada uma das camadas fornecem *interfaces* bem definidas para permitir um fluxo contínuo de dados e ações.

A camada *IoT* é responsável pela coleta de eventos do chão de fábrica para fornecer dados em tempo real para o sistema. Essa camada é composta por dois blocos menores da estrutura geral apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Detalhes da camada IoT



Fonte: Adaptada de Ghimire *et al.* (2016).

É dividida nas camadas *gateway* e *back-end*. *Gateway* fornece interface para integrar diferentes tipos de *tags*, redes de sensores, PLCs, reclamação OPC UA dispositivos e, quando necessário, eventos externos causados por usuários ou outros aplicativos geradores de eventos. Essa camada é responsável por apoiar vários protocolos como o M2M, GSN, GS1 EPC serviço ALE, *ZigBee* etc. Fornece conversão de protocolo uniforme a ser usada pela camada *gateway* (GHIMIRE *et al.*, 2016). Ela age como uma camada de integração para fornecer um protocolo uniforme para as camadas acima.

A camada de *back-end* é responsável pela coleta de eventos e em processamento. Essa camada fornecerá serviços para processamento de eventos, interface de publicação/assinatura para eventos e acesso seguro aos eventos, quando necessário.

Segundo os autores, os sistemas legados e outras aplicações consomem/fornecem dados ou fluxo de controle de/para o chão de fábrica por meio das *interfaces* fornecidas pela camada *back-end*.

2.3.5 *Framework* baseado em *IoT* para aferição de desempenho: um alinhamento em tempo real da Cadeia de Suprimentos

O objetivo do modelo proposto por Rezaei, Shirazi e Karimi (2017) é otimizar o indicador de desempenho com base em Métricas da Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos (SCOR).

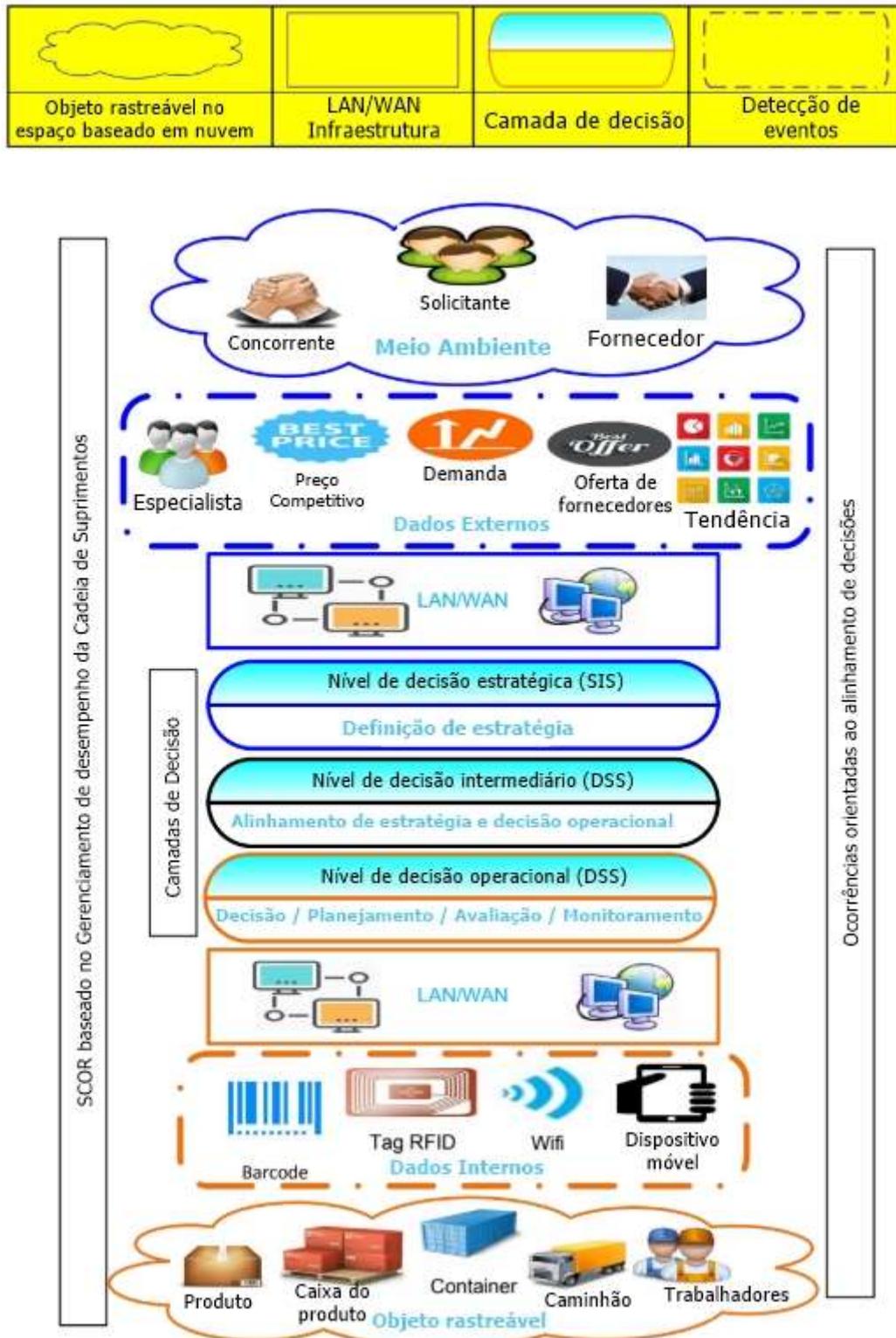
Segundo os autores, essa estrutura detalhada permite projetar funções multiobjectivas aceitáveis e abrangentes. O *Framework* usando SCOR e os pressupostos a seguir descritos foram desenvolvidos.

Para cada transação (referente a ocorrências internas ou externas), os dados são imediatamente produzidos, reconhecidos e gravados; as partes reconhecidas têm acesso a todos os dados gerados; para qualquer novo dado gerado, uma nova decisão apropriada é tomada; as decisões estão imediatamente disponíveis para todas as partes válidas.

Os planos são atualizados e implementados com base nas novas decisões; a decisão no nível estratégico é a decisão baseada em inteligência humana; a decisão no nível operacional é independente da inteligência humana; as decisões estratégicas e operacionais estão alinhadas à inteligência da máquina.

Segundo os autores, a Figura 10 demonstra as ações de: distinguir os eventos de nível estratégico e atualizar as decisões estratégicas; distinguir os eventos de nível operacional e atualizar as decisões operacionais; alinhar todas as decisões.

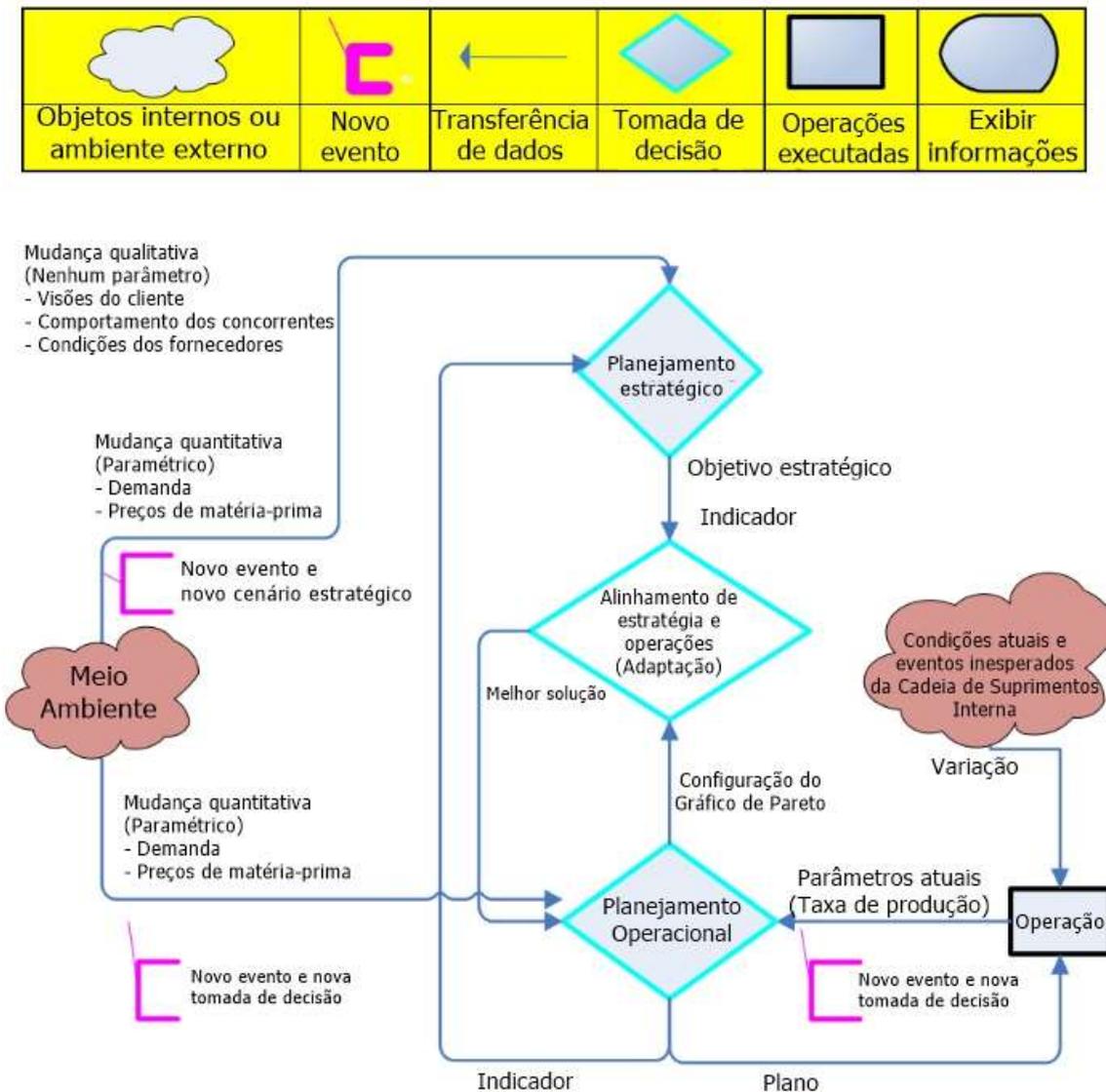
Figura 10 – O Framework de IoT integrado



Fonte: Adaptada de Rezaei et al. (2017).

A Figura 11 apresenta o *design* lógico para os três principais módulos de decisão: como se relacionar, mecanismo de atualização e seus recursos de alimentação de informação.

Figura 11 – Design lógico para o Framework



Fonte: Adaptada de Rezaei *et al.* (2017).

Segundo Rezaei, Shirazi e Karimi (2017), com base na natureza dos eventos e tipo de decisões, a nova definição proposta categoriza decisões em dois grupos. A primeira categoria são decisões baseadas em inteligência humana, decisões complexas e não estruturadas. Tais decisões são tomadas no mais alto nível e

influenciam todos os níveis inferiores. Normalmente, os problemas de planejamento estratégico são considerados nesse nível.

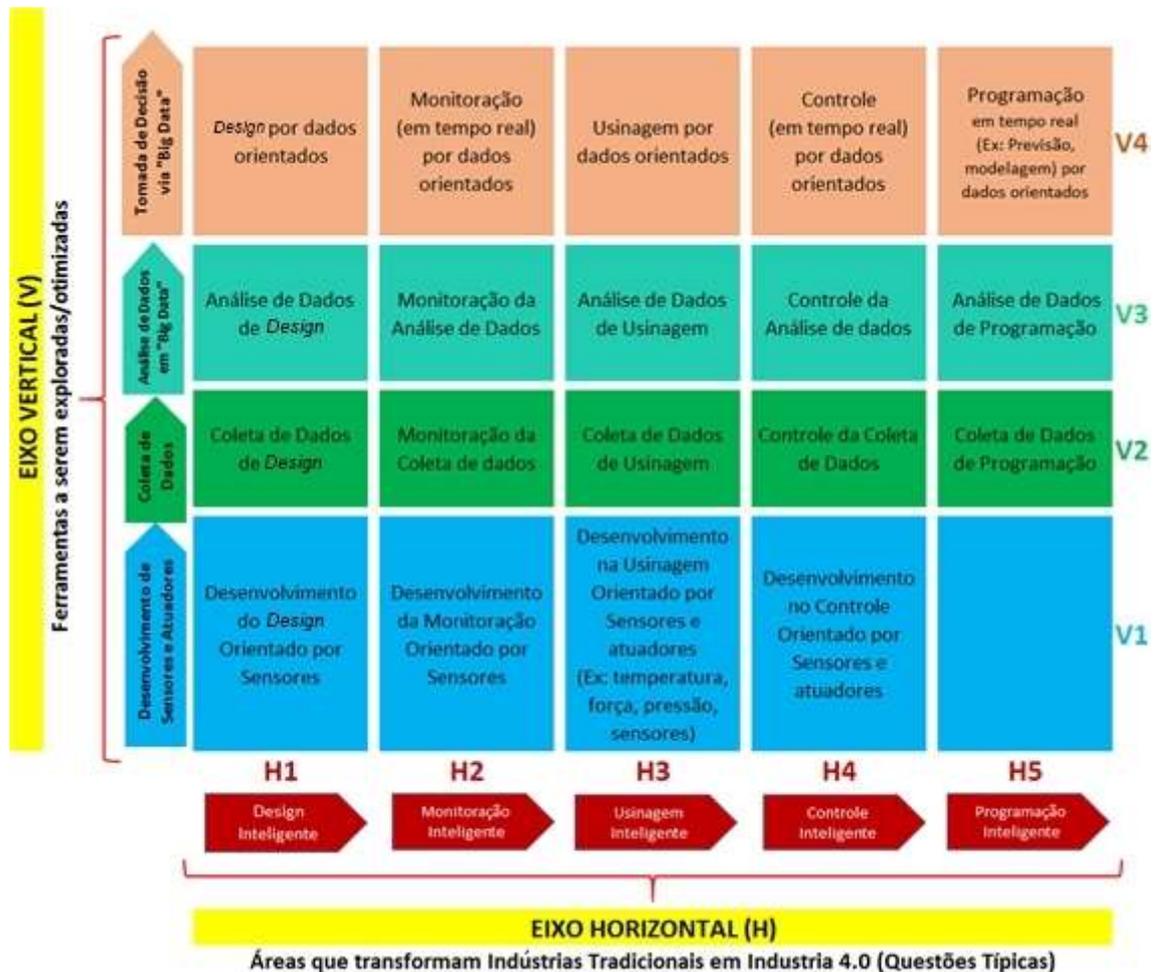
O segundo grupo de decisões são as máquinas de decisões baseadas em inteligência. São menos complexas que as de inteligência humana e mais estruturadas. Problemas como controle de estoque, planejamento de produção e distribuição são considerados nesse nível.

2.3.6 Sistema de Manufatura Inteligente da Indústria 4.0

Zheng *et al.* (2018) consideraram que não existem evidências de trabalhos que tenham estabelecido um *Framework* sistemático de manufatura inteligente para a Indústria 4.0 que possam conduzir uma pesquisa acadêmica à implementação industrial de tal assunto.

A Indústria 4.0 envolve grande parte das operações no setor de manufatura, desde o *design* do produto até a logística. Os autores desenvolveram um *Framework* para o sistema de manufatura inteligente da Indústria 4.0, que abrange vários tópicos, como: *design* inteligente, usinagem inteligente, monitoramento inteligente, controle inteligente, programação inteligente e implementação industrial.

Figura 12 - *Framework* – Sistema de Manufatura Inteligente da Indústria 4.0



Fonte: Adaptada de Zheng (2018).

Os autores relatam que o eixo horizontal do *Framework* representa questões típicas da Indústria 4.0, ou seja, questões que devem ser exploradas e otimizadas por gestores que almejam a transformação de uma Indústria tradicional em Indústria 4.0. O eixo vertical representa ferramentas que os gestores podem explorar ou otimizar para a obtenção de determinadas mudanças.

Para o modelo de *Design* Inteligente (H1) ser implantado, é necessária a combinação de ajustes na engenharia e realizações físicas (ZHENG *et al.*, 2018).

O *Design* tradicional vem sendo aprimorado e transformado em Inteligente, em razão de novas tecnologias avançarem ligeiramente (KOLAREVIC, 2004).

Conforme mostra a Figura 12, para a obtenção de *Design* Inteligente na indústria, necessárias são as seguintes ferramentas: *Design* por dados orientados,

análise de dados de *Design*, coleta de dados de *Design* e desenvolvimento do *Design* orientado por sensores.

Se determinado gestor optar por *Design* Inteligente em sua fábrica, bem como obter o desenvolvimento do *design* orientado por sensores (H1 – V1), ele deverá explorar e otimizar o desenvolvimento de sensores e atuadores.

Para alcançar o *Design* inteligente de coleta de dados (H1 – V2), a ferramenta de coletas de dados deve ser explorada e otimizada.

Na questão de *Design* Inteligente, existe a possibilidade de se obter o *Design* Inteligente de análise de dados (H1 – V3); para tanto, a ferramenta de análise de dados em *Big Data* deve ser acionada.

A ferramenta da Tomada de Decisão por *Big Data* pode ser explorada e otimizada, para o *Design* Inteligente de dados orientados (H1 – V4).

Como mencionado, se as quatro ferramentas acima forem exploradas e otimizadas, é possível a obtenção de resultados que transformem o *Design* de uma Indústria em *Design* Inteligente.

No sistema de manufatura da Indústria 4.0, a Monitoração (H2) é um importante fator na manutenção, operações e programação (JANAK; HADAS, 2015).

A implantação generalizada de vários sensores faz com que o monitoramento inteligente seja possível. As informações provenientes de diversos objetos de manufatura, assim como temperatura, consumo de energia e velocidade, podem ser obtidas em tempo real. A Monitoração Inteligente também permite que uma visualização gráfica seja obtida, bem como avisos de anormalidades que ocorrem nas máquinas e ferramentas de operação (WANG *et al.*, 2012; QIU *et al.*, 2015).

Para se conseguir a Monitoração Inteligente numa indústria, é possível perceber, por meio do *Framework* conceitual de Zheng *et al.* (2018), a utilização das quatro ferramentas do eixo vertical (Figura 12).

O desenvolvimento da monitoração orientada por sensores é possível com o uso da ferramenta do desenvolvimento de sensores e atuadores (H2 – V1).

A efetividade de uma empresa que possua a monitoração da coleta de dados inteligente (H2 – V2) é possível pelo uso e desenvolvimento da ferramenta - coleta de dados.

Quando o assunto a ser implementado for a monitoração da análise de dados inteligente (H2 – V3), o desenvolvimento da análise de dados em *Big Data* deverá ser empregado.

O monitoramento, em tempo real, por dados orientados (H2 – V4) acontece na monitoração inteligente quando a tomada de decisão é feita por *Big Data*.

A Usinagem inteligente (H3) numa indústria 4.0 ocorre devido à influência mútua de objetos inteligentes, incluindo robôs, que possam interagir entre si e compreender, em tempo real, a operação ao seu redor (ZHONG *et al.*, 2012).

O *Cyber Physical System (CPS)* permite que a ferramenta de usinagem inteligente possa obter dados em tempo real e transferi-los para um sistema central em nuvem a fim de que as máquinas em operação e seus serviços possam ser sincronizados fornecendo soluções inteligentes de manufatura (ZHENG *et al.*, 2018).

Com o desenvolvimento de sensores e atuadores (H3 – V1), a usinagem é orientada, por exemplo, com relação à temperatura, força, pressão, sensores etc.

A coleta de dados de usinagem inteligente é possível por meio da otimização da ferramenta de coleta de dados (H3 – V2).

Uma análise de dados de usinagem inteligente (H3 – V3) é possível pelo desenvolvimento da análise de dados em *Big Data*.

A usinagem por dados orientados (H3 – V4) ocorre na Indústria 4.0, em função da tomada de decisão por *Big Data*.

O Controle Inteligente (H4) é executado principalmente para a gestão de diversas máquinas e ferramentas inteligentes, por meio de uma plataforma habilitada em nuvem (MAKAROV *et al.*, 2014).

Os usuários poderão desativar um robô ou uma máquina de forma simples; basta acessar o *smartphone* e realizar a ação (WANG, 2013).

Para obter o controle inteligente na indústria 4.0, o desenvolvimento de sensores e atuadores (H4 – V1) ativa o controle orientado.

Na indústria 4.0, o controle inteligente da coleta de dados (H4 – V2) vem por meio da otimização da ferramenta de coleta de dados. O controle inteligente da análise de dados (H4 – V3) ocorre pelo uso da ferramenta de análise de dados em *Big Data*. É possível obter-se o controle orientado por dados (H4 – V4), por meio da utilização da ferramenta de tomada de decisão por *Big Data*.

A programação Inteligente (H5) utiliza modelos avançados e algoritmos para extrair informações de dados coletados por sensores. Técnicas orientadas por dados e arquitetura de decisões avançadas podem ser usadas para realizar a programação inteligente (MARZBAND *et al.*, 2015).

Por meio da correta e situada estrutura de serviços, o procedimento e comportamento da produção podem ser carregados automaticamente e com eficiência (BÜYÜKÖZKAN; GÜLERYÜZ, 2016).

Quando a ferramenta de coleta de dados (H5 – V2) for explorada e otimizada, é possível que a coleta de dados de programação se torne inteligente.

A ferramenta de análise de dados (H5 – V3) em *Big Data* possibilita que a análise de dados de programação seja inteligente.

Se a ferramenta de tomada de decisão por *Big Data* for adotada pela fábrica, a programação pode ser feita em tempo real e por dados orientados (H5 – V4). O resultado disso é a previsão de programação, modelagem da programação etc.

Os autores Papakostas, Efthymiou, Georgoulis e Chryssolouris (2012) concluem que o *Framework* numa manufatura dinâmica proporciona oportunidades para a Gestão das Cadeias e dos modelos de negócios.

Com o surgimento do *design* inteligente, tomada de decisão inteligente e da manufatura inteligente, as aplicações podem promover uma ampla perspectiva, ao considerar melhorias práticas, como a eficiência na produção, controle do tempo e a promoção de uma logística eficaz (MESSINA *et al.*, 2016).

Zheng *et al.* (2018) finalizam a descrição de seu *Framework* conceitual (Figura 12), afirmando que a aplicação industrial de *Frameworks* é a principal necessidade de indústrias que desejam otimizar seus processos, evidenciar o sistema de manufatura e evoluir para uma Indústria 4.0.

2.3.7 Indústria Sustentável

O *Framework* proposto por Kamble *et al.* (2018), para a Indústria 4.0 Sustentável, originou-se a partir da sistêmica revisão de literatura, da qual os autores selecionaram 85 artigos e dividiram-nos em cinco categorias: Interação humana com as máquinas (*Human-Machine Interactions*), Interação de equipamentos com as máquinas (*Machine-Equipment Interactions*), Tecnologias da Indústria 4.0 (*4.0 Industry Technologies*) e Sustentabilidade (*Sustainability*), gerando, assim, um estruturado *Framework* com três principais resultados econômicos: proteção ambiental, automação de processos e segurança.

Dos 85 artigos selecionados, destacam-se dois tipos de metodologias aplicadas: a conceitual e a empírica. A empírica evidenciou a visibilidade e a mensuração dos processos da Indústria 4.0 e a Conceitual discorreu sobre teorias, ideias, desafios e vantagens da Indústria 4.0.

A revisão de literatura baseou-se em duas questões de pesquisa: “Quais são as abordagens utilizadas para estudar a Indústria 4.0” e “Qual é a posição das pesquisas em meio à Indústria 4.0?”.

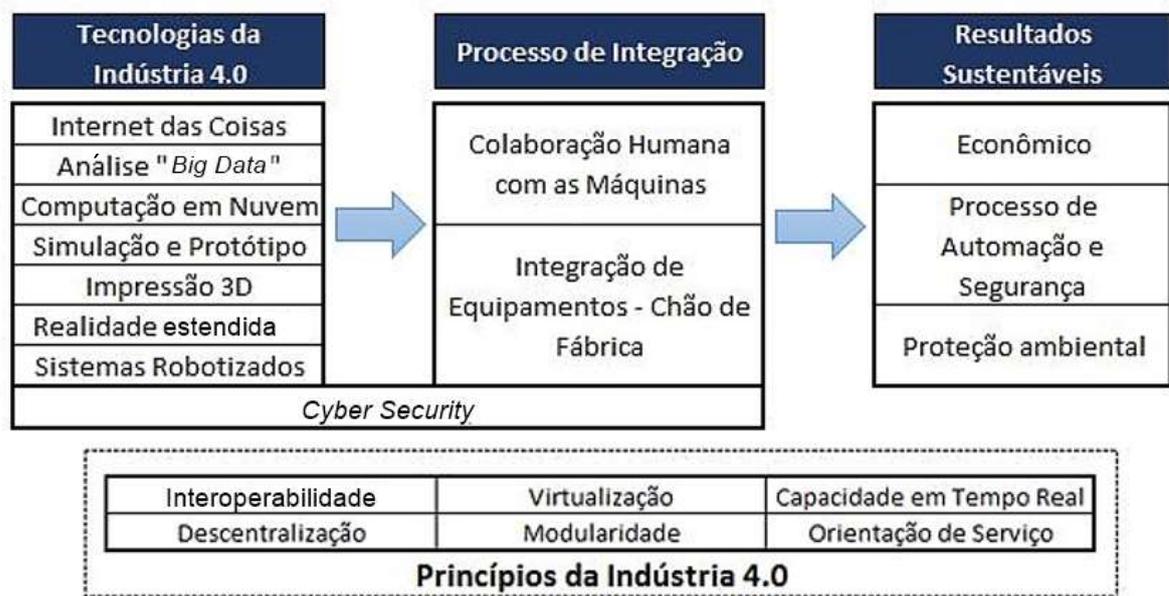
O *Framework* foi sugerido considerando-se que a Indústria 4.0 facilita a integração dos processos e atividades por meio da interação de objetos conectados, tornando o sistema mais flexível, econômico e sustentável (WANG *et al.*, 2015).

O autor propôs um *Framework* com três componentes cruciais: Tecnologias da Indústria 4.0, Integração dos Processos e Resultados Sustentáveis, pois identificou que a rápida industrialização tem contribuído para um nível mais baixo de saúde, segurança de trabalho e degradação do meio ambiente (LUTHRA; MANGLA KUMAR, 2017).

As Tecnologias da Indústria 4.0 conectam máquinas, dispositivos, ferramentas, equipamentos logísticos e produtos em tempo real, permitindo uma comunicação instantânea entre si (WANG *et al.*, 2015).

A estrutura do *Framework* (Figura 13) reconhece o papel dessas tecnologias na integração dos processos.

Figura 13 - Framework de uma Indústria 4.0 Sustentável



Fonte: Adaptada de Kamble *et al.* (2018).

A Indústria 4.0 é composta por alguns princípios como: interoperabilidade como a capacidade de diferentes sistemas e organizações trabalharem de forma conjunta (interoperar); descentralização em que os poderes são realocados e uma decisão não depende de um único sistema.

Virtualização é uma técnica que permite criar uma cópia virtual do mundo físico; modularidade em que um sistema, dividido em partes distintas, possa ser substituído e expandido mais facilmente; capacidade em tempo real consiste em realizar tarefas instantaneamente; orientação de serviço refere-se à integração de processos, já que os sistemas estão interconectados.

Esses princípios fundamentam as tecnologias que dão base para a Indústria 4.0 e as tecnologias são:

IoT é um novo ecossistema industrial que combina inteligência com máquinas autônomas, prognóstico analítico avançado e colaboração máquina-humana para impulsionar a produtividade e eficiência (WONG; KIM, 2017).

O *Big Data* é capaz de suportar coleta de dados em tempo real de fontes distintas, análise sistemática de dados e tomadas de decisões instantâneas, promovendo uma flexibilidade na manufatura, na qualidade da produção, eficiência energética e melhoria dos equipamentos por meio de uma manutenção antecipada (BAHRIN *et al.*, 2016).

A tecnologia da computação em nuvem é usada amplamente na Indústria 4.0 para expandir o compartilhamento de dados na empresa e o desempenho dos sistemas (LIU; XU, 2016).

Os protótipos e simulação alavancarão dados em tempo real para espelhar o mundo real em modelo virtual, no qual se incluem máquinas, produtos e pessoas (BAHRIN *et al.*, 2016).

A impressão em 3D tem como base a manufatura aditiva, que forma os produtos finais por meio da construção de camadas sucessivas de materiais, evitando assim a montagem de peças e componentes.

Realidade estendida diz respeito a uma atmosfera de imersão criada por meio de ferramentas computacionais com as quais o usuário executa determinadas tarefas.

Sistemas Robotizados são caracterizados como sistemas flexíveis e autônomos que oferecem vantagem de custo, variedade de capacidades e realizam diversas tarefas nos processos da fábrica inteligente (PEI *et al.*, 2017).

O processo de integração é o resultado do sistema *cyber*-físico e equipamentos humanos. É alcançado por meio da junção das tecnologias da Indústria 4.0, a qual permite a criação de processos e produtos inteligentes, viabilizando o atendimento das rápidas mudanças do mercado.

As tecnologias da Indústria 4.0 e o processo de integração estão interligados por um sistema de segurança capaz de afrontar determinados riscos a que os sistemas estão expostos.

Os resultados sustentáveis concluem que os processos da Indústria 4.0 simplificam a integração dos procedimentos industriais e atividades por meio da interação dos elementos conectados pelo *cyber*-físico e, em função disso, torna a manufatura mais flexível, sustentável e econômica.

O Processo de Integração, alcançado por meio das tecnologias da Indústria 4.0, permite o desenvolvimento de produtos e processos inteligentes fundamentais para atender as necessidades do mercado que evolui constantemente (SCHMIDT *et al.*, 2015).

Por meio da revisão de literatura, verificou-se que a Indústria 4.0 permite a correta alocação, monitoramento e gerenciamento de recursos como: água, energia, matéria-prima e diversos outros consumíveis, por meio da interpretação e uso dos dados coletados em tempo real de produção, resultando em Procedimentos Sustentáveis. (STRANGE; ZUCHELLA, 2017). O *Framework* indica que as tecnologias da Indústria 4.0 possuem grande potencial para realizar processos de fabricação sustentáveis (JABBOUR *et al.*, 2018).

O gerenciamento digital das operações proporciona uma melhoria nas condições e segurança do trabalho. O *Framework* propõe que a Indústria 4.0 alcançará uma nova revolução nas práticas de gerenciamento de segurança, por meio de um pensamento inovador (MAJA; ÓSIC, 2017).

Tais resultados sugerem aos gestores não serem desencorajados com os obstáculos da adoção da Indústria 4.0 e, sim, trabalharem para superar os desafios e obterem um ambiente de manufatura sustentável.

2.3.8 ASM – *Autonomic Smart Manufacturing* (Manufatura Inteligente Automática)

Menasce *et al.* (2015) sugerem um *Framework* (Figura 14) baseado no modelo *MAPE-K* (sigla em inglês que significa: monitorar, analisar, planejar e executar fundamentados no conhecimento). Tal *Framework* pode ser usado para transformar a manufatura inteligente num sistema integrado de apoio às decisões o qual permite que decisores, como os engenheiros de produção, expressem questões e objetivos por meio de uma variedade de métricas, como estabelecer metas para o consumo de

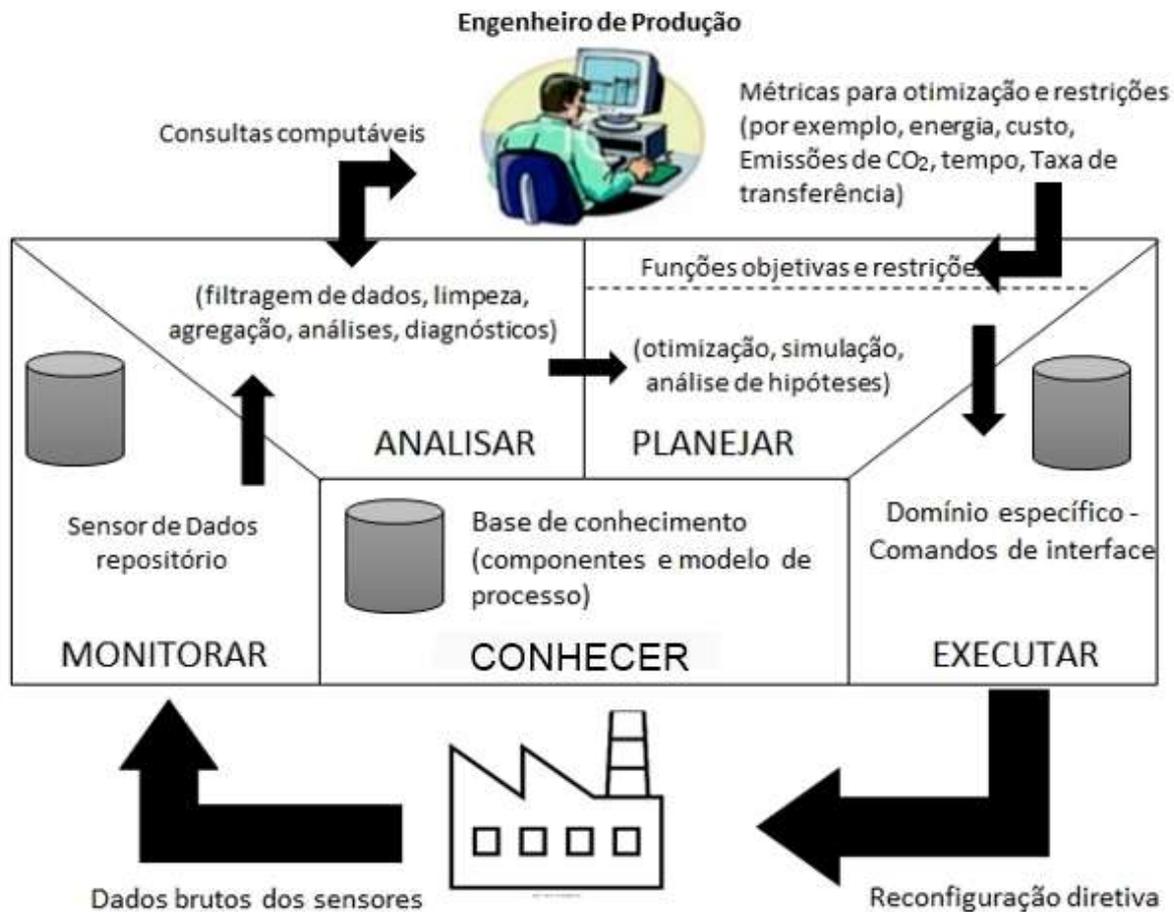
energia, tempo de processamento e tempo de transferência. No gerenciamento automático, tais tarefas serão otimizadas e as metas atingidas com maior facilidade.

O Sistema de Execução da Manufatura (*MES*) providencia o controle e o gerenciamento da produção da manufatura. O *MES* é capaz de, em tempo real, informar as operações instantâneas, como o desempenho da produção e os recursos utilizados. Se as operações não operarem dentro do parâmetro estabelecido, será reportado para o responsável que tomará decisões necessárias (MENASCÉ; KRISHNAMOORTHY; BRODSKY, 2015).

O *MES* proporciona um monitoramento eficiente das ferramentas e, por isso, é utilizado para minimizar a intervenção humana nas operações das fases da *Automatic Smart Manufacturing (ASM)*.

O *Framework ASM* sugere um gerenciamento das operações do chão de fábrica para reagir dinamicamente a uma variedade de condições. A combinação de vários modelos sugeridos para a Indústria 4.0, como um modelo de processo que representa determinada máquina com inventário de peças, o fluxo de peças na máquina num chão de fábrica controlado ou uma rede de linhas preditivas, com o planejamento das fases e análise da manufatura inteligente. A combinação desses diferentes modelos propostos apoia a implantação em diferentes níveis de integração e fornece melhoras na tomada de decisão.

Figura 14 - Framework Manufatura Inteligente Automática (ASM – *Autonomic Smart Manufacturing*)



Fonte: Adaptada de Menasce *et al.* (2015).

O *Framework ASM*, baseado no modelo *MAPE-K*, concede uma tomada de decisão dinâmica e integrada, por meio da verificação em tempo real e total de fabricação, aproveitamento da máquina e consumo total de energia no processo.

O engenheiro de produção é o agente central que tem autonomia para avaliar e captar os resultados obtidos com a fase analisar. Nas consultas computáveis, o engenheiro toma conhecimento dos processos da manufatura, o que envolve informações cruciais, como níveis de consumo de energia, qualidade do produto, tempo, entre outros e, com esses resultados, o engenheiro estabelece métricas para a otimização e restrições das tarefas, que serão planejadas e executadas. Tais fases são mais bem descritas a seguir.

Na fase ‘monitorar’, a ferramenta é usada para coletar, de forma automática ou semiautomática, informações por meio de sensores. Tais informações incluem velocidade de determinadas máquinas, pressão aplicada a determinados materiais, densidade de materiais, emissão de gás CO₂, quantidade de água utilizada, energia consumida, temperatura total da produção, entre outras.

Na fase ‘analisar’, os resultados são analisados, parâmetros são calibrados e diagnósticos são realizados. Por meio desse processo, o engenheiro detecta falhas no processo de manufatura e, desse modo, ações corretivas podem ser determinadas.

Na fase ‘planejar’, as ações corretivas são determinadas em função dos resultados analisados na fase anterior e, por meio disso, verifica-se de acordo com a configuração de cada máquina as implantações que devem ser aplicadas.

Na fase ‘executar’, as implantações determinadas são aplicadas conforme a necessidade de cada máquina. Na fase ‘conhecer’, armazenam-se informações sobre componentes, modelos de processos, otimização e modelos preditivos.

Essas fases executadas com o Engenheiro de Produção proporcionam uma otimização da produção, ao se avaliarem os processos e se identificarem possíveis não conformidades no sistema.

2.3.9 Integração de Informações da Manufatura em Tempo Real

Zhang *et al.* (2014) sugerem um *Framework* para “*Internet* de Manufatura das Coisas”, por meio da “Integração de Informações da Manufatura em Tempo Real”. A *IoT* é capaz de monitorar de forma dinâmica os processos de execução da manufatura. Os sensores inteligentes são utilizados para medir parâmetros de forma instantânea como temperatura, pressão, umidade, velocidade, aceleração, entre outros. Dessa forma, com um monitoramento em tempo real das operações, torna-se viável o controle otimizado e adequado da execução dos sistemas.

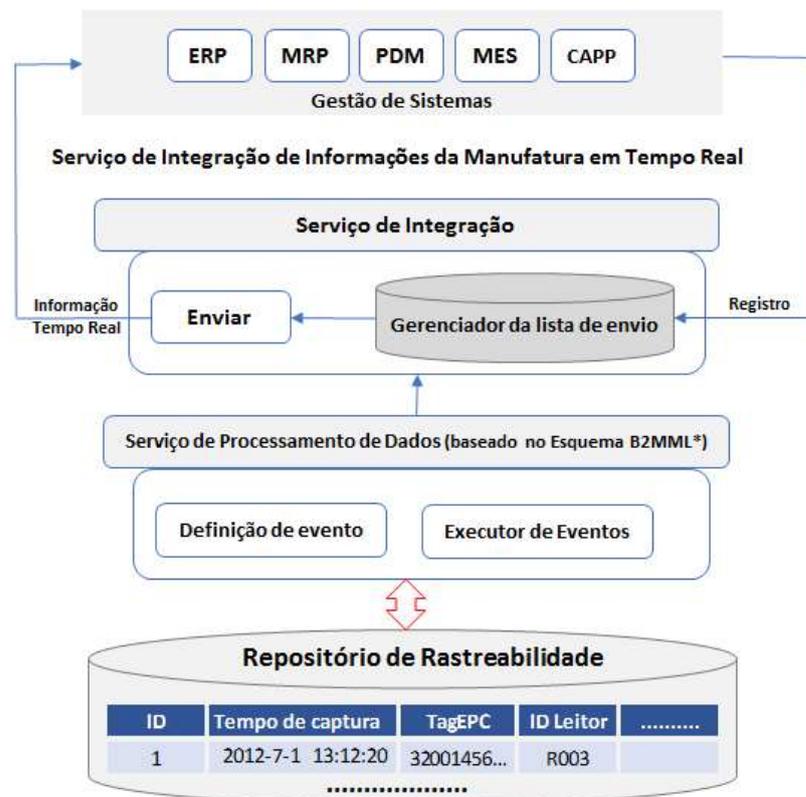
Zhang *et al.* (2014) desenvolveram um *Framework* capaz de tornar os objetos de manufatura inteligentes com a competência de identificar o *status* em tempo real dos itens manufaturados, monitorando operadores, materiais, locais e itens em

processamento, fazendo com que a manufatura em tempo real seja visível e rastreável.

O Serviço de Integração de Informações da Manufatura em Tempo Real (RTMIIS) é designado a estabelecer uma ligação entre processamento de dados em tempo real e compartilhamento de informações entre sistemas de manufatura heterogêneos e dispositivos de identificação automática ligados à manufatura.

O RTMIIS é encapsulado como serviço *online* que pode ser facilmente publicado e pesquisado. Na Figura 15, as entradas desse serviço são os parâmetros da fonte de dados dos sistemas de gerenciamento que os usuários querem adquirir ou atualizar informações de ou para, enquanto as saídas são para fornecer as informações-padrão em tempo real para sistemas de gestão heterogêneos.

Figura 15 - Framework de Integração de Informações da Manufatura em Tempo Real



*B2MML: Business to Manufacturing Markup Language

Fonte: Adaptada de Zhang *et al.* (2014).

O Serviço de integração consiste em dois componentes, o método *push* e o gerenciador de lista. O gerenciador de lista é responsável por registrar a entrada de informações de diferentes sistemas de gestão. O componente *push* é responsável por enviar informações em tempo real para diferentes sistemas, por meio de sensores.

O Serviço de Processamento de Dados é designado para processar os dados de fabricação isolados capturados pelos sensores no chão de fábrica, como esquema de informação-padrão e é composto por duas partes centrais: definição de evento e executor de evento. A definição de evento tem por finalidade estabelecer as relações, que incluem os fluxos lógicos e sequencial, entre os eventos primitivos dos dispositivos de identificação automática. O executor de eventos é usado para executar o evento de fabricação de acordo com os relacionamentos estabelecidos na definição do evento. Esses estão interligados com o Repositório de Rastreabilidade onde estão alocadas as informações da manufatura (Zhang *et al.*, 2014).

No modelo sugerido na Figura 15, a *Internet* de Manufatura das Coisas está baseada em quatro componentes: configuração dos objetos da manufatura inteligente, detecção de eventos primitivos, processamento de dados da manufatura e serviços de aplicação.

A configuração dos objetos da manufatura inteligente consiste em capacitar os recursos de forma inteligente, por meio da instalação de equipamentos, como etiquetas *RFID*, capazes de fornecer informações do processo ou produto por radiofrequência.

A detecção de eventos primitivos consiste na captação de dados durante os processos operacionais. O processamento de dados da manufatura consiste nas informações extraídas dos sensores inteligentes instalados nos objetos. Por meio disso, é possível controlar o mecanismo da produção. Os serviços de aplicação são as decisões tomadas em função das informações obtidas em tempo real, provenientes da linha de produção (Zhang *et al.*, 2014).

O *Framework* desenvolvido tornou os objetos de manufatura inteligentes capazes de identificar problemas em tempo real, sendo possível controlar uma manufatura de forma dinâmica, porém a literatura investigada também relata que há significativo desafio no processamento de grande quantidade de dados em tempo real, pois tais informações estão normalmente alocadas entre sistemas de aplicativos

distintos, linguagens distintas e formatações distintas. Para resolver esse problema, a integração de informações em tempo real da manufatura (*RTM/IS*) foi designada a atuar como uma ponte para processar dados da manufatura em tempo real e compartilhá-los entre sistemas de gerenciamento heterogêneos (Zhang *et al.*, 2014).

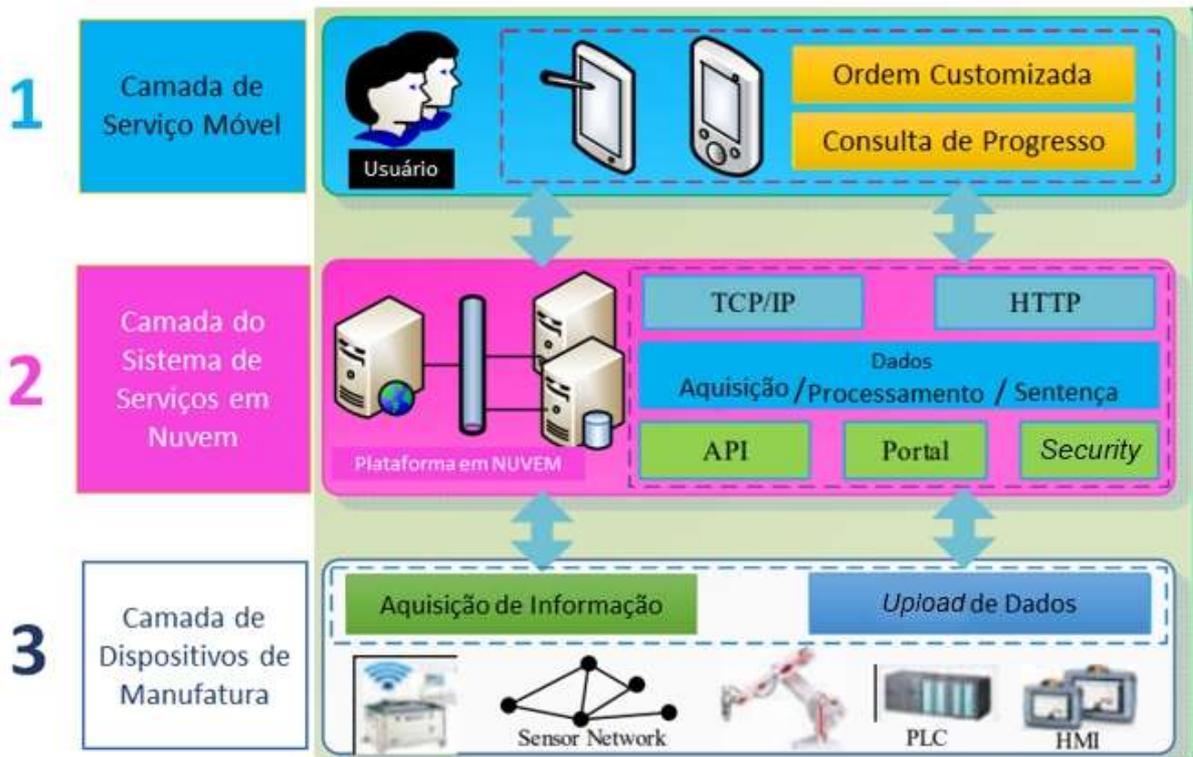
Zhang *et al.* (2014) concluíram que um *Framework* cobre vários tópicos relevantes no que tange à implantação da Indústria 4.0 e seus desafios, desafios que compreendem desde o *design*, usinagem, monitoração, controle, programação e gestão de fornecedores, sendo dessa forma uma referência importante aos acadêmicos e profissionais para elaborar, pensar e repensar a essência da Indústria 4.0, vista por diferentes perspectivas.

2.3.10 PCMS - Sistema de Manufatura Personalizada

Wan *et al.* (2016) apresentaram o *Framework* de uma fábrica inteligente que incorpora o *network* da Indústria e o armazenamento em nuvem feito por meio de terminais de controle de supervisão ligados em objetos de *Smart Shop Floor*, que podem ser máquinas, transportes e produtos. Esse sistema físico de auto-organização é gerenciado pela resposta do banco de dados em nuvem e pelo controle da coordenação.

O proposto Sistema de Wan *et al.* (2016) ajuda o *design* de estratégia complementar de gerenciamento a prevenir impasses, melhorando a tomada de decisão de agentes e o comportamento de coordenadores. O *Framework*, criado e descrito como *Personalized Customization Manufacturing System (PCMS - Sistema de Manufatura Personalizada)*, adota uma plataforma em nuvem como um meio de processamento para a formação de um mecanismo de produção flexível, dividida nas três camadas, vistas na Figura 16.

Figura 16 - *Framework* do Sistema de Manufatura Personalizada (PCMS)



Fonte: Adaptada de Wan *et al.* (2016).

A Camada de Serviço Móvel é responsável por fornecer serviço customizado e dinâmico no processo de produção, monitorando, assim, capacidades aos consumidores. Para o efetivo funcionamento dessa camada, é necessário um terminal inteligente e móvel, usado para acessar a nuvem pela internet.

Por meio da camada do sistema de serviço em nuvem, a qualificação das características essenciais do CPS acontece. Quando a tecnologia da computação em nuvem é empregada, existe troca de dados de *Application Programming Interface* (API), armazenamento e análise de dados por meio dos diferentes recursos de uma indústria com Internet das Coisas (*IoT*). Essa camada também fornece serviços de *web* como meio de receber pedidos personalizados, informações e de enviar dados da gestão de produção. O Sistema de Serviço em nuvem pode completar a integração de informação e compartilhamento de requisições (Wan *et al.*, 2016).

Na camada de dispositivos de manufatura, um *software* definido como rede de sensores é usado para coletar informações de recursos. O módulo embarcado é usado para a conversão de informações; assim, muitos dispositivos desta camada podem-se associar à nuvem. Portanto, usando os dispositivos mencionados, um robô inteligente consegue automaticamente receber as decisões da nuvem para implementar atividades de produção em múltiplos aspectos. Simultaneamente, melhoram a flexibilidade e eficiência do *workshop* da produção. Wan *et al.* (2016) apresentam quatro tecnologias-chave para o proposto modelo, descritas a seguir.

A Tecnologia Colaborativa de Unidade Fabril é empregada principalmente para solucionar dois aspectos da camada de dispositivos de manufatura, nomeada de conexão do objeto e o sistema de reconstrução. Com relação à conexão de objetos, rede de sensores e a tecnologia *Radio-Frequency IDentification (RFID)*, esses são empregados para realizar a calibração e rastreamento de informações de posição do objeto de processamento (Wan *et al.*, 2016).

A tecnologia de processamento de informações da rede de recursos deve promover o acesso à rede de recursos e a formatação da troca de dados. No processo de troca de informações entre o terminal do cliente e a produção, existe um problema causado pela heterogeneidade de diferentes equipamentos e redes. A tecnologia de serviço da *web* é introduzida, portanto, para ativar a necessária rede de aplicação integrada e cruzada. Para alocar diferentes centros no sistema de serviço em nuvem e realizar o processamento de recursos, é necessário o uso de *Uniform Resource Locator (URL)*.

A tecnologia de processamento de dados em nuvem promove canais de dados para informação e comunicação entre objetos no terminal. Os dados coletados serão gerados por um equipamento, e o envio de mensagens ao terminal móvel acontecerá respectivamente.

Buscando ativar o requisito de serviços móveis ao *PCMS*, é necessário desenvolver o *software* de aplicação móvel. O sistema de *software* da aplicação móvel pode ser usado em desenvolvimento do aplicativo do terminal, disponibilizado em *Android* e *IOS*. O modelo proposto por Wan *et al.* (2016) pode gerenciar o processamento de informações da ordem personalizada de clientes, porém com o

intuito de realizar uma completa automação e, em consequência, tornar inteligente o sistema de manufatura.

2.3.11 Modelo de Representação do *Playing Field*

O autor Celaschi (2017) cita assuntos que estão diretamente ligados à transformação da economia digital, como a Indústria 4.0, a Revolução Digital e Convergência, fazendo a sistematização do *design* da referida transformação, bem como o mapeamento do *Playing Field* por meio do destaque das práticas de *design*.

Madureira *et al.* (2008) discutiram um *Framework* bio-inspirado e multi-agente automático com capacidades de gestão autônomas para a resolução do complexo problema da programação, usando a negociação corporativa. Mais tarde, num outro trabalho, Madureira *et al.* (2010) relataram o uso do sistema multi-agente para o dinâmico suporte e programação distribuída em sistemas de manufatura para reduzir a complexidade do gerenciamento de sistemas de manufatura e interferência humana.

No *Framework* proposto, é identificado um gráfico com quatro quadrantes separados por eixos cartesianos de fácil compreensão, pois estão divididos por uma parede central (eixo vertical), resultando em dois campos de jogo: o campo *B2B* (negócios para negócios) e o campo *B2C* (negócios para clientes).

Os modelos tradicionais de produção têm apoiado a existência de uma barreira que separa profissionalmente a dimensão da concepção técnica entre produção-*design*-técnica e a dimensão comercial-comunicação-*design*-marketing-distribuição.

Na primeira dimensão, compreende-se ser uma atividade interna (dos engenheiros), que predomina na fábrica ou na relação entre fornecedores e fabricantes. A segunda é entendida como uma área ocupada por pessoas experientes em finanças, gestão, *design* e comunicação, sendo externa ao ambiente da produção e direcionada para o mercado, incidindo o mínimo possível na concentração (CELASCHI, 2017).

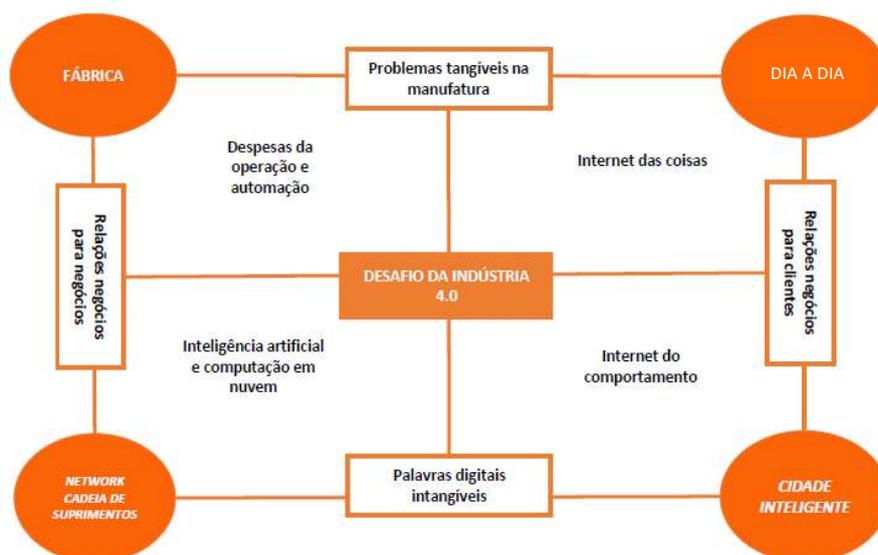
No *Framework* há quatro extremidades: os dois extremos do eixo vertical representam o primeiro desafio; devem ser combinadas a dimensão do material (manufatura) e a dimensão intangível (digital).

Esse primeiro desafio é o de mais fácil entendimento e implementação, pois ainda está fortemente ligado a investimentos concretos em máquinas e serviços da produção que envolve o compartilhamento de capital. Em contrapartida, o segundo desafio são os extremos dos lados opostos do eixo horizontal; são desafios do mundo da produção e mercado que até então viviam separadamente de acordo com o sistema clássico de produção.

O constante desenvolvimento dos sistemas promove uma revolução ocasionada pelo uso simultâneo de diversas tecnologias o qual otimiza os investimentos produtivos e de fornecimento da fábrica. Essas tecnologias envolvem robôs colaborativos, realidade virtual, manufatura em nuvem, *Big Data*, análises avançadas e *IoT* (CELASCHI, 2017).

O uso dessas tecnologias envolve também a remoção das barreiras entre os espaços industriais e digitais (dimensão vertical - Figura 17) e a retirada da barreira entre os dois quadrantes esquerdos (produção) e a direita (mercado), ambos na dimensão pessoal e individual como nas comunidades e cidades (cidades inteligentes). A revolução é o resultado da possibilidade de usar todas essas tecnologias simultaneamente para otimizar os investimentos produtivos ou de fornecimento na fábrica.

Figura 17 - Modelo de representação do *Playing Field*



Fonte: Adaptada de Celaschi (2017).

O uso sistemático dessas tecnologias é agora chamado de *Internet* dos Comportamentos (IOB). Esse nome representa a complexa situação atual da quarta revolução industrial (Indústria 4.0) em que os comportamentos em tempo real dos usuários são capazes de governar a produção. Dependendo de onde o controle central estiver localizado, é possível um comando total dos processos da manufatura, independente do lugar em que se encontrarem fisicamente e da mesma forma, é possível um controle absoluto do comportamento dos cidadãos pelo sistema de produção, onde estiverem (CELASCHI, 2017).

O *Framework*, desafio central da Indústria 4.0, propõe uma interação entre os processos de uma fábrica, eliminando barreiras entre as diversas áreas da produção, instalados pelo modelo tradicional de produção. A *IoT*, *internet* do comportamento, Inteligência Artificial (IA) e despesas de operação estão entre as extremidades do gráfico, que representam os desafios propostos.

Celaschi (2017) conclui que uma fábrica, no dia a dia, possui monitoramento inteligente e automatizado de todos os processos da manufatura, desde a Cadeia de Suprimentos até o chão de fábrica. Com essa nova esquematização, as cidades se tornarão inteligentes, envolvendo a automação de atividades cotidianas da população.

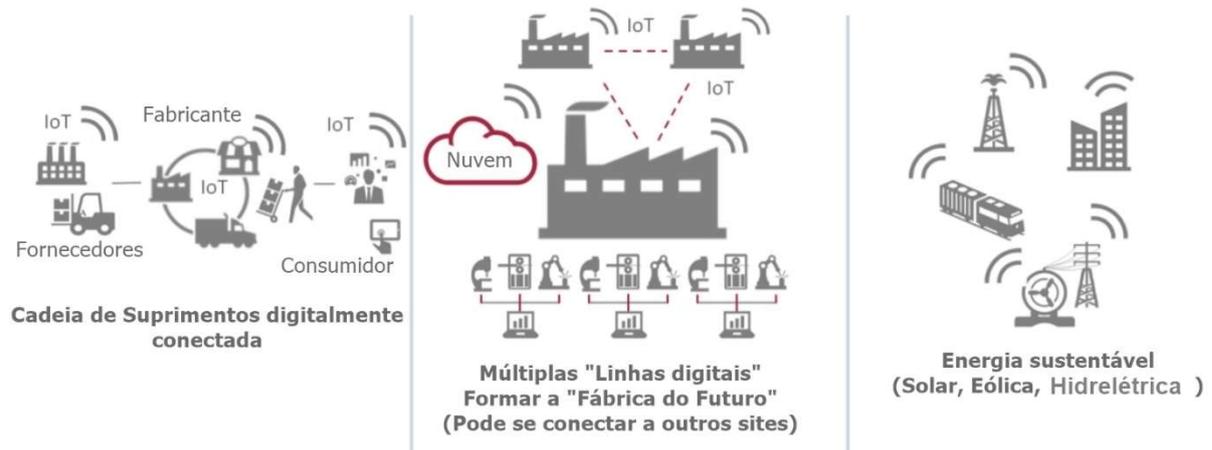
2.3.12 Uma revisão da Cadeia de Suprimentos Sustentável incorporada à Internet das Coisas (*IoT*) e requisitos da Indústria 4.0

Manavalan e Jayakrishna (2018) exploraram as potenciais oportunidades disponíveis na Cadeia de Suprimentos Sustentável (CSS) incorporada na *Internet* das Coisas (*IoT*) para a transformação da Indústria 4.0. Com base na revisão, um *Framework* para avaliar a prontidão da organização da Cadeia de Suprimentos de várias perspectivas foi proposto para atender às exigências da Quarta Revolução Industrial.

Conforme ilustrado na Figura 18, a visão da Indústria 4.0 no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) é que toda a empresa deve estar conectada digitalmente e ajudar as partes interessadas a tomarem decisões dinâmicas em tempo

real. A *IoT* permite interconectar as máquinas, componentes, dispositivos e usuários dentro de uma empresa.

Figura 18 - Fábrica do Futuro em Sistema Ecológico de Cadeia de Suprimentos Sustentável com Indústria 4.0



Fonte: Adaptada de Manavalan e Jayakrishna (2018).

Além disso, não é apenas para se conectar a um local de fabricação; aproveitando a nuvem e a *internet*, deve ser possível se conectarem vários *sites* formando muitas linhas de Cadeia de Suprimentos digitais.

O conceitual *Framework* foi formulado a partir de cinco perspectivas importantes, nomeadamente: Negócios baseados em Operações Inteligentes, Tecnologia baseada em Produtos Inteligentes, Desenvolvimento Sustentável, Colaboração e Estratégia e Organização da Gestão.

Figura 19 - Framework para avaliar a Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável para Indústria 4.0



Fonte: Adaptada de Manavalan e Jayakrishna (2018).

Segundo os autores, o *Framework* possui três camadas. A primeira contém cinco facilitadores, o que influencia a sustentabilidade; a segunda camada é composta por dezoito critérios de sustentabilidade; a terceira, por sessenta e dois atributos. Esse *Framework* é um modelo completo para avaliar sustentabilidade na organização a partir da perspectiva Indústria 4.0.

Tabela 1 – Avaliação do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos para a Quarta Revolução Industrial

Facilitador	Critério	Atributo
Negócios baseados em Operações Inteligentes	Gestão de Serviços	Simplificar e monitorar a execução de serviço.
		Rastrear o desempenho dos serviços.
		Desenvolver visão completa dos gastos com serviços para saber se estão em conformidade.
	Gestão Operacional	Automatizar trabalhos.
		Alinhar as operações às necessidades de negócios.
		Resposta às exceções antes de o negócio ser afetado
	Abastecimento Estratégico	Gerenciar gastos e reduzir o desperdício.
		Maximizar as economias realizadas.
		Obter fornecedores e materiais certos.
	Gerenciamento de Fornecedores	Estruturar negociações para resultados de qualidade.
		Aplicar verbalmente o contrato adequado.
		Simplificar e automatizar auditorias de fornecedores.
		Analisar o desempenho do fornecedor.
Tecnologia baseada em Produtos Inteligentes	IoT	Orquestrar a avaliação do fornecedor por vários departamentos.
		Monitorar toda a rede da Cadeia de Suprimentos.
		Introduzir a segurança cibernética.
		Saber antecipadamente riscos ambientais.
	Sistema Físico Cibernético	Gerenciar recursos e sistemas.
		Avaliar a informação em tempo real.
		Automonitorar e controlar o processo.
		Construir previsão de ações ou necessidades dos usuários.
	Realidade Aumentada	Promover a produção auto-organizada.
		Proceder ao gerenciamento de emergência.
		Gerar assistência remota e orientação em atividades de manutenção.
	Big Data	Estabelecer novas formas de coordenação do <i>design</i> e processo de fabricação.
		Alertas de risco proativo com base em dados históricos.
		Esgotar problemas de qualidade e produto falho.
		Ser flexível na consolidação de dados para a Inteligência de Negócios.
	Desenvolvimento Sustentável	Econômico
Promover a estabilidade financeira.		
Estudar a exposição ao risco em organização.		
Investir em tecnologia e melhoramentos.		
Meio Ambiente		Reformular a abordagem para estender a vida útil do equipamento antes de considerar novos equipamentos.
		Reduzir o recurso de energia não renovável.
		Reduzir o aquecimento global com poluição do ar.
Social		Libertar dos poluentes a água e o solo.
		Impor práticas de saúde e segurança.

		Aderir aos regulamentos do governo.
		Conscientização sobre macroeconomia.
Colaboração	Desenvolvimento conjunto	Colaborar entre linhas de negócios.
		Uso do Gerenciamento de Dados do Produto (PDM).
		Redução de custos sem valor agregado.
	Integração Logística	Mostrar visibilidade em consignação em trânsito (localização, <i>status</i> e alocações).
		Remover obstáculos que impactam entrega ou variação de custo.
		Aproveitar a tecnologia e ativar a tomada de decisão.
	Colaboração de Fornecedores	Melhorar o índice de desempenho de custos, garantindo o material certo.
		Estabelecer colaboração com fornecedores usando sistemas <i>online</i> .
		Trazer visibilidade às iniciativas estratégicas.
		Aproveitar o relacionamento com fornecedores em longo prazo.
	Adoção de resposta ao cliente	Satisfazer o Cliente - Custo, Qualidade e Pontualidade.
		Experiência do usuário - Adoção universal, maximizar a economia.
Reduzir o tempo de colocação no mercado automatizando processos.		
Estratégia e Organização da Gestão	Gestão de Custos	Melhorar a previsibilidade e visibilidade do fluxo de caixa em toda a Cadeia de Suprimentos.
		Monitorar movimentos de preços de componentes que impactam a lucratividade.
		Adaptar-se a mudanças nos padrões de gastos.
		Gerenciar, processar os produtos e serviços de <i>remarketing</i> .
	Gestão de Tempo	Automatizar o gerenciamento custoso de dados
		Garantir conformidade para a obtenção de serviços oportunos.
		Sistemas de comunicação baseados em dispositivos móveis.
	Investimento Orientado a Valor	Gerar demanda por bens e serviços.
		Gerenciar a base de fornecimento em várias categorias de produtos.
		Antecipar riscos e fornecer planos de mitigação.

Fonte: Adaptada de Manavalan e Jayakrishna (2018).

2.3.13 *Framework* para construir sistemas inteligentes, seguros e eficientes

Segundo Abdel-Basset *et al.* (2018), as Cadeias de Suprimentos tradicionais enfrentam vários desafios, como incertezas, custo, complexidade e problemas vulneráveis. Para superar esses problemas, as Cadeias de Suprimentos devem ser mais inteligentes.

Segundo os autores, para estabelecer uma larga escala de infraestrutura inteligente a fim de mesclar dados, informações, produtos, objetos físicos e todos os processos da Cadeia de Suprimentos, foi aplicada a *Internet* das Coisas (*IoT*) na Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) construindo um sistema inteligente e seguro. Foi preparado um *site* para fornecedores e gerentes.

Os autores rastrearam o fluxo de produtos em cada etapa do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos por meio da tecnologia de Identificação por radiofrequência (*RFID*). No sistema, o fornecedor e o gerente obtêm informações perfeitas de todo o ciclo de vida das mercadorias, garantindo transparência na Gestão da Cadeia de Suprimentos.

Para avaliar os critérios de segurança do sistema, Abdel-Basset, Gunasekaran e Mohamed (2018) propuseram um *Framework* que integra a decisão neutrosófica Técnica do Laboratório de Ensaio e Avaliação (N-DEMATEL) com processo hierárquico analítico (AHP). Utilizou-se a técnica N-DEMATEL para inferir inter-relações de causa e efeito entre os critérios de requisitos de segurança da Cadeia de Suprimentos Inteligentes (CSI).

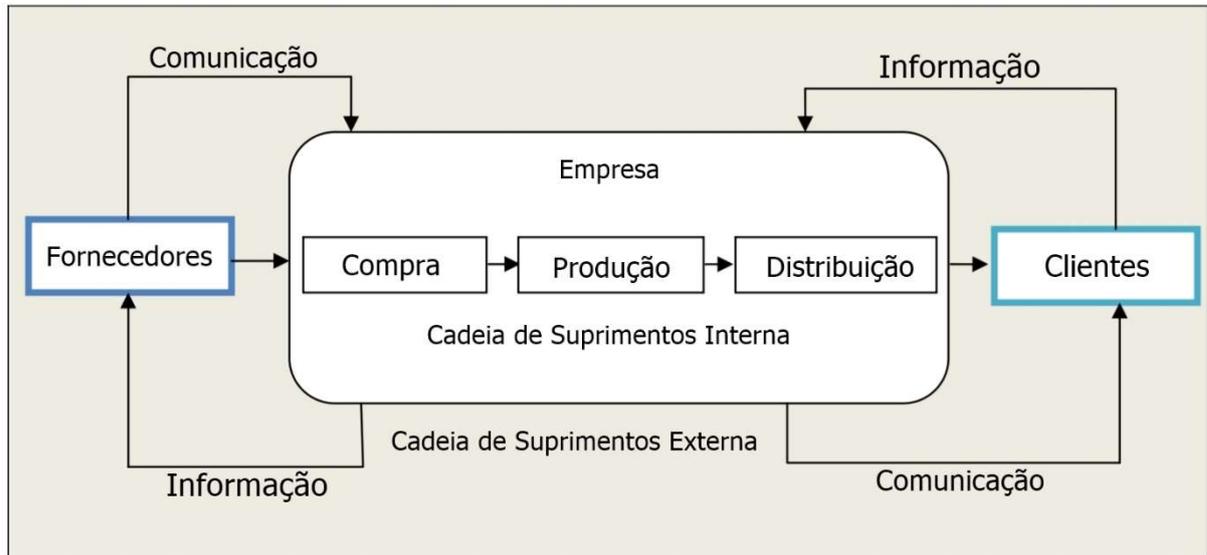
Dependendo da informação obtida de (N-DEMATEL), o AHP neutrosófico é utilizado para calcular o peso dos critérios e subcritérios. Então, a estrutura integrada ajuda pesquisadores e profissionais a projetarem um sistema seguro de Cadeias de Suprimentos.

Os autores apresentaram o *Framework* em ambiente neutrosófico para lidar eficazmente com informações vagas, incertas e incompletas. Assim, o sistema proposto de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos será capaz de superar todos os desafios do GCS tradicional e fornecer um ambiente seguro para seus processos.

A Cadeia de Suprimentos Tradicional é uma grade de matérias-primas, informações, serviços e processos que caracterizam oferta, transformação e

demanda. A Cadeia de Suprimentos pode ser interna ou externa, o que expressa os limites da empresa, conforme apresentado na Figura 20.

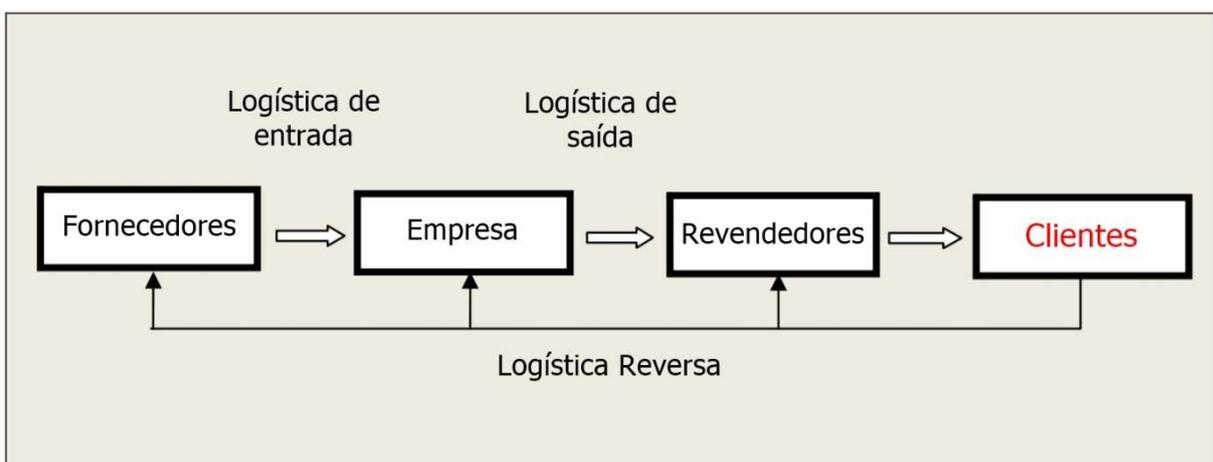
Figura 20 - Modelo da Cadeia de Suprimentos Interna e Externa



Fonte: Adaptada de Abdel-Basset *et al.* (2018).

Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos é o processo de gerenciamento das atividades da Cadeia de Suprimentos para maximizar a satisfação do cliente e obter um benefício competitivo sustentável. Um diagrama simples dessa Cadeia é apresentado na Figura 21.

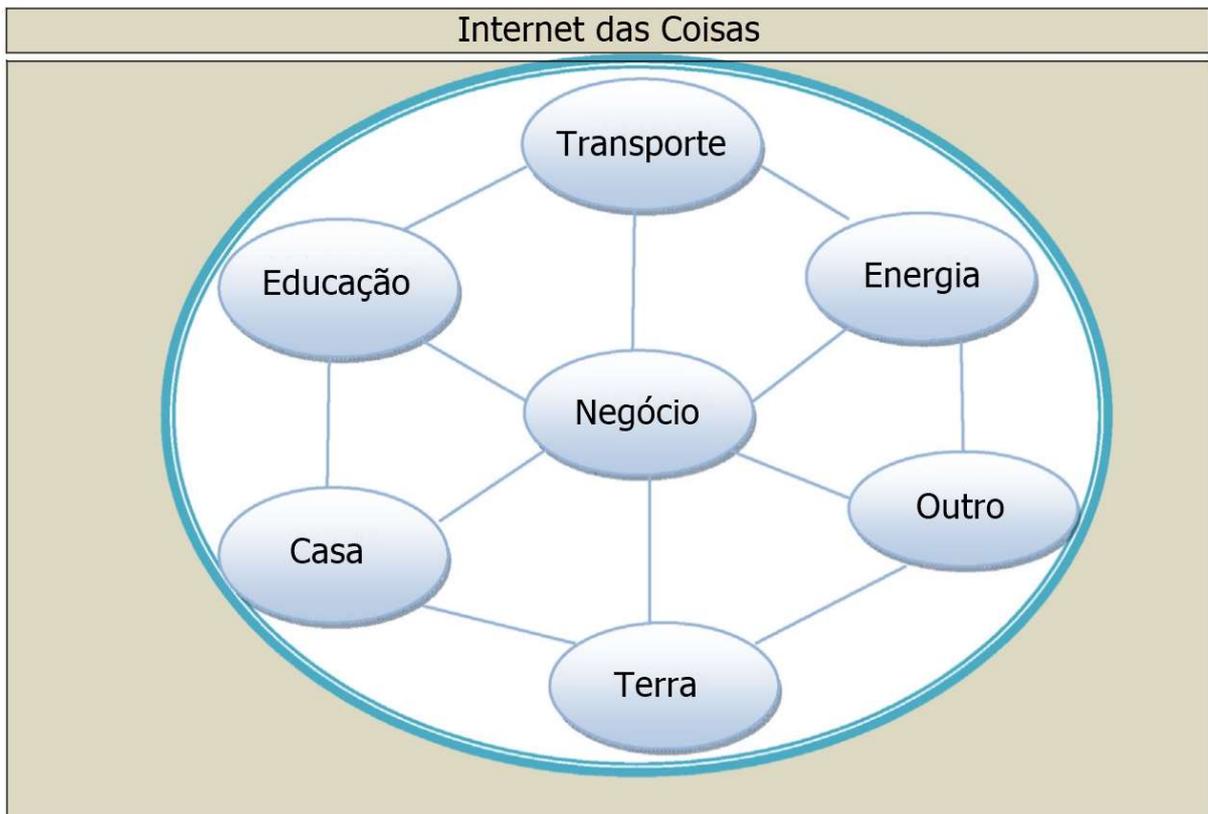
Figura 21 – Gestão da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Adaptada de Abdel-Basset *et al.* (2018).

IoT pode ser aplicado a qualquer aspecto de nossas vidas como se vê na Figura 22. Os dispositivos inteligentes do *IoT* permitem que empresas da Cadeia de Suprimentos reduzam o custo resultante do processo de aquisição de conhecimento.

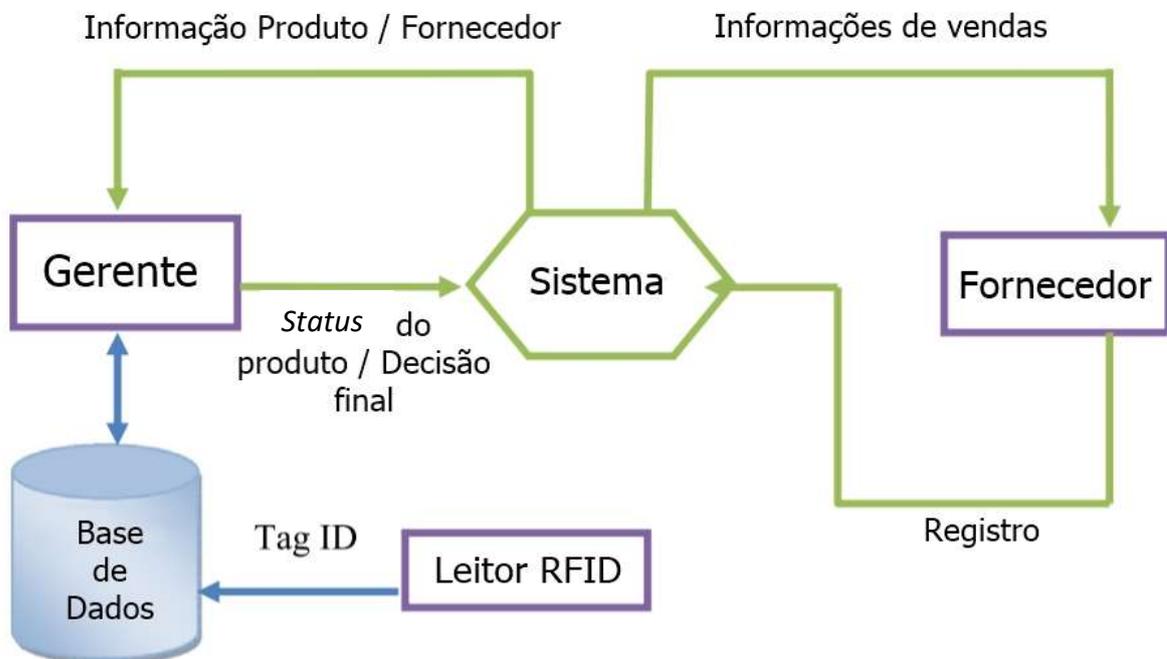
Figura 22 – Campos de Aplicação da Internet das Coisas



Fonte: Adaptada de Abdel-Basset *et al.* (2018).

Para rastrear produtos em cada estágio do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, foi utilizada a tecnologia da Identificação por radiofrequência (*RFID*). Cada produto anexo com *tag RFID* e o leitor *RFID* e *Esp8266* (*chip Wi-Fi* de baixo custo) são usados para digitalizar os produtos em cada etapa do GSC. Após a digitalização dos produtos, a identificação da *tag* é enviada ao banco de dados. A informação do produto será preenchida pelo fornecedor por meio do gerente. O sistema geral está apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Sistema do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Adaptada de Abdel-Basset *et al.* (2018).

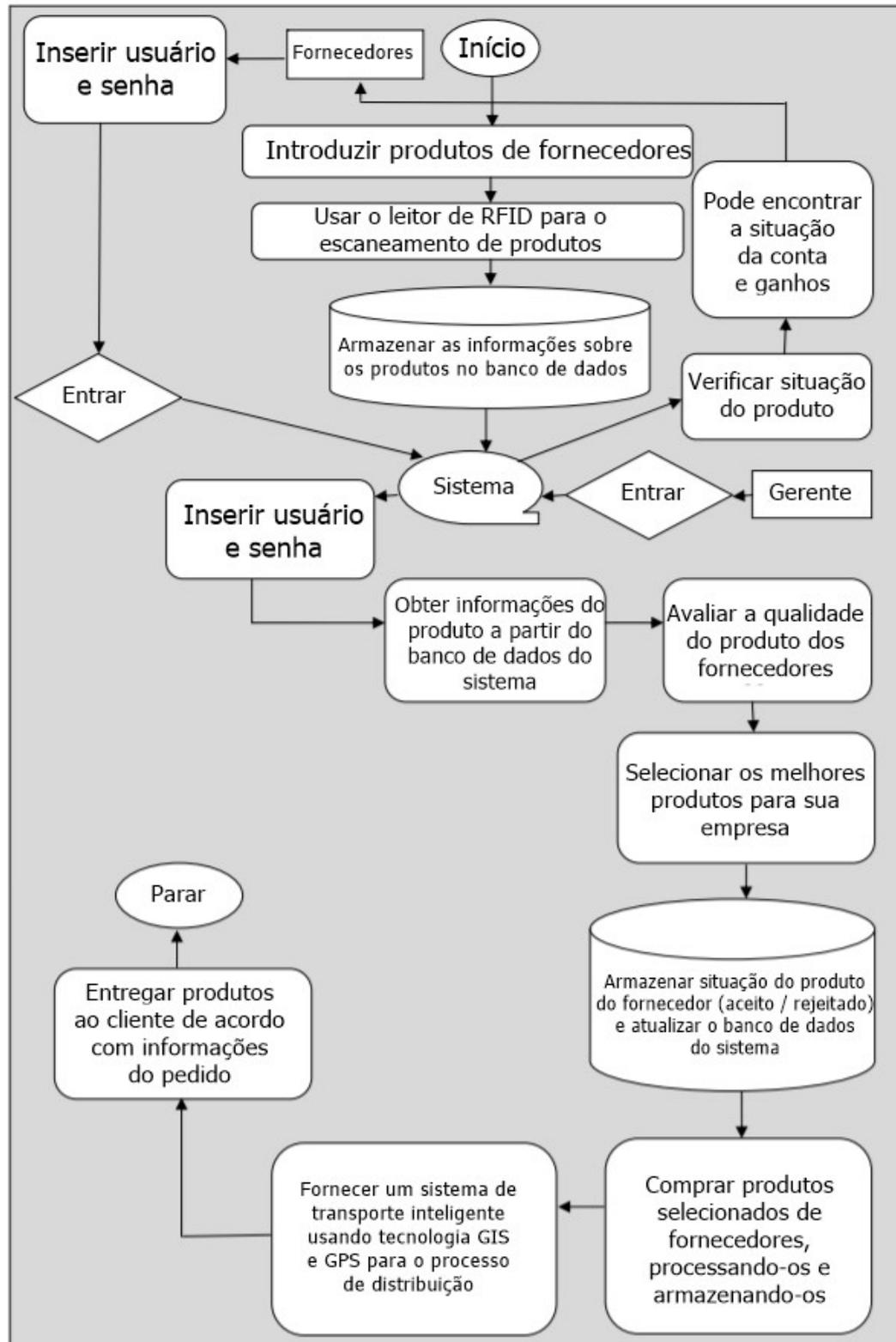
O diagrama detalhado da estrutura proposta pelos autores do GCS inteligente, apresentado na Figura 24, consiste em três etapas a seguir descritas.

Na primeira etapa, foi criado um *site* para fornecedor e gerente, a fim de facilitar o processo de comunicação. Utilizaram-se várias tecnologias relativas à *IoT*, como a *tag RFID*, para rastrear produtos em cada estágio e analisá-los por meio de leitor *RFID* e armazenar todas as informações sobre produtos num banco de dados. Isso aumentará o processo de coleta de dados. Essas informações são compartilhadas facilmente entre fornecedores e gerentes, usando o Esp8266, que é um módulo *Wi-Fi* de baixo custo. Isso alcançará a transparência do sistema, pois tanto o gerente quanto o fornecedor podem obter informações do produto a partir do banco de dados do sistema (ABDEL-BASSET; GUNASEKARAN; MOHAMED, 2018).

Na segunda etapa, de acordo com as informações obtidas no banco de dados, o gerente avaliará o produto do fornecedor e selecionará apenas os produtos de alta qualidade. O fornecedor nesta fase pode acessar o sistema por meio da inserção de nome de usuário, senha e rastrear o *status* do produto (aceitar, rejeitar).

Na fase final – terceira etapa -, após avaliar os produtos dos fornecedores e selecionar o melhor, um processo de compra deve ser executado. Depois de comprar e processar produtos, o sistema de transporte inteligente deve estar disponível para o processo de distribuição. Utiliza-se o *Global Positioning System (GPS)*, Sistema de Informação Geográfica (GIS), e tecnologia de sensores para rastrear a localização do veículo e garantir a segurança dos produtos a bordo (ABDEL-BASSET; GUNASEKARAN; MOHAMED, 2018).

Figura 24 – O diagrama detalhado do *Framework* proposto para a GCS inteligente



De acordo com a informação do pedido, os produtos serão entregues aos clientes. A informação obtida da encomenda do cliente é estabelecida por meio da tecnologia de telefones inteligentes.

Para implementar o *Framework* proposto, foram necessárias para a implementação de *software*: as linguagens *HTML*, *CSS*, *JavaScript* e *PHP*; para a implementação de *hardware*: as etiquetas *RFID*, leitores *RFID*, *GIS*, *GPS* e tecnologias *Esp8266*. O sistema de transporte inteligente para a distribuição de produtos e mercadorias ao cliente depende de *GPS*, *GIS* e sensores (ABDEL-BASSET; GUNASEKARAN; MOHAMED, 2018).

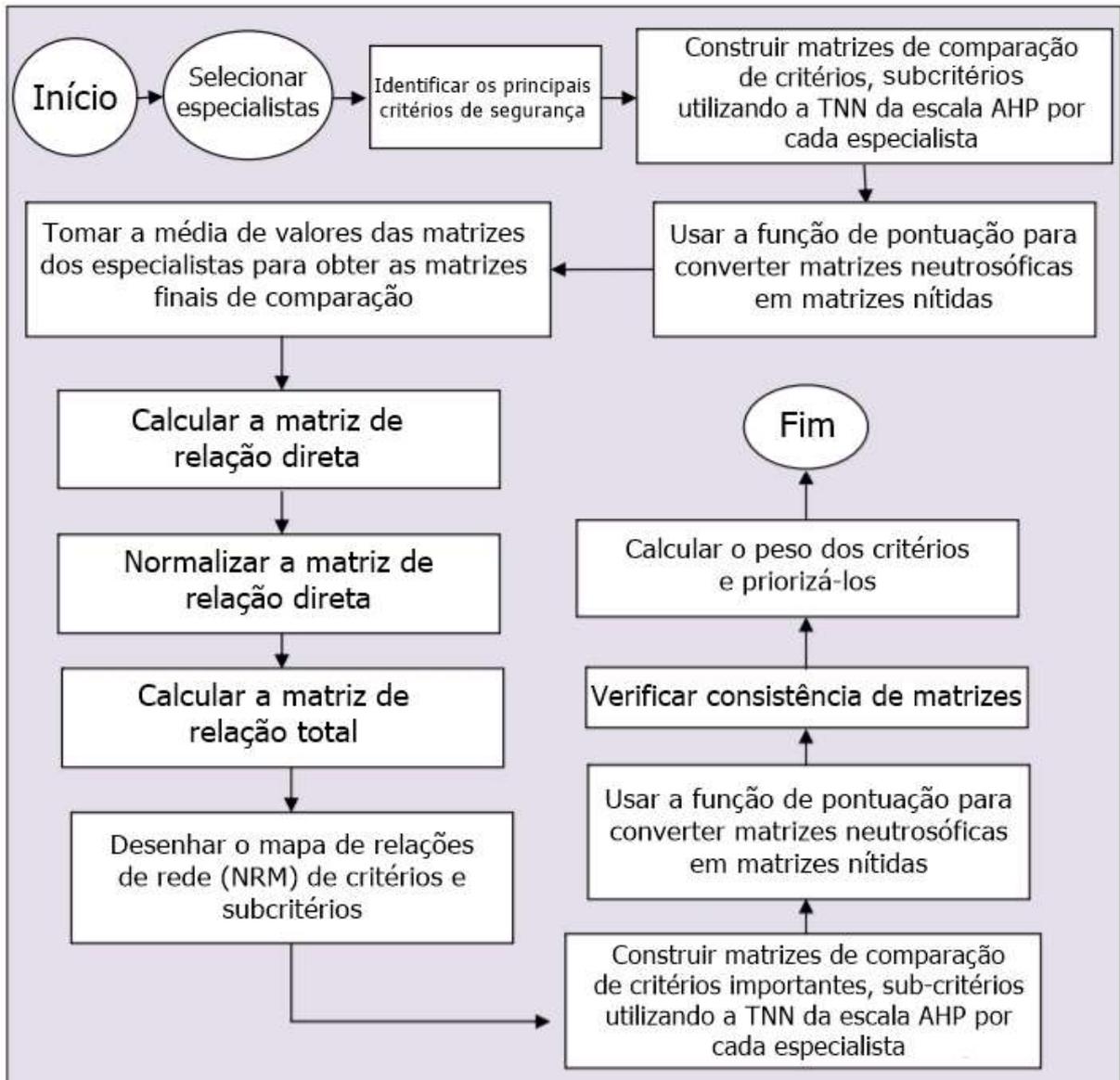
Os sensores do veículo incluem: sensor de umidade e temperatura e sensor de pressão dos pneus. As tecnologias anteriores permitem rastreamento de localização e monitoramento do sistema do veículo. Todos reuniram dados e informações em todo o sistema de gerenciamento da Cadeia de Suprimentos por meio da tecnologia *Esp8266*.

A fim de determinar os requisitos de segurança da proposta do sistema para o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, os autores apresentaram um *Framework* para avaliar os critérios de segurança do sistema.

Os critérios de segurança a serem considerados nos sistemas inteligentes de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, de acordo com as opiniões dos especialistas, aparecem na Figura 25 e, segundo os autores, dependem de duas fases.

A primeira delas é para investigar as interrelações dos critérios de segurança. Os especialistas usam a escala de neutrossofia DEMATEL. Os dados desta fase são analisados pelo método DEMATEL neutrosófico. A segunda fase é para calcular pesos de subcritérios e a escala neutrosófica de 9 pontos é utilizada, então (ABDEL-BASSET; GUNASEKARAN; MOHAMED, 2018).

Figura 25 – O Framework proposto para avaliar os critérios de segurança



Fonte: Adaptada de Abdel-Basset *et al.* (2018).

2.4 PROPOSTA DE *FRAMEWORK* PARA A IMPLANTAÇÃO DE *INTERNET DAS COISAS* NO GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Como parte do trabalho desempenhado nesta tese e após a realização dos estudos pertinentes que desenvolveram a apresentação de todos os *Frameworks* descritos nos capítulos anteriores, foram observadas suas principais características, exclusas as similaridades para que assim, de posse das informações mais significativas, fosse possível sugerir um *Framework* que integrasse características observadas noutros, gerando um novo *Framework* capaz de auxiliar a implantação de *Internet das Coisas (IoT)* no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) conforme segue.

Na Tabela 2 ilustram-se as tarefas, demandas, dificuldades da Cadeia de Suprimentos Tradicional e benefícios da Cadeia de Suprimentos, com a adoção de *Internet das Coisas* com as informações mais significativas e as principais características encontradas nos *Frameworks* apresentados.

Tabela 2 – Tabela de análise: Tarefas da Cadeia de Suprimentos Tradicional e com Internet das Coisas

Tarefas/ Demandas	Dificuldades da Cadeia de Suprimentos Tradicional	Cadeia de Suprimentos com Internet das Coisas
Gestão de Serviços	Foco em cronogramas estáveis e nivelados: programação de pedidos fixos. (GUNASEKARAN; NGAI, 2005)	Simplificação e monitoramento da execução de serviço. Rastreamento do desempenho dos serviços. Visão completa dos gastos com serviços para saber se estão em conformidade. (KATHAWALA; ABDU, 2003); (YOUNGDAHL; LOOMBA, 2000); (BALSMEIER; VOISIN, 1996).
Gestão Operacional	Definição de procedimentos para fazer estimativas. (LAMBERT, 2008)	Automatização de trabalhos. Alinhamento das operações às necessidades de negócios. Resposta às exceções antes de o negócio ser afetado. Gerenciar gastos e reduzir o desperdício. (CORBETT; KLEINDORFER, 2003); (KLEINDORFER; SINGHAL; VAN WASSEHOVE, 2005); (KOCABASOGLU; PRAHINSKI; KLASSEN, 2007).

Abastecimento Estratégico	<p>Atrasos, retrabalho, alterações constantes no planejamento e ausência de informações relevantes.</p> <p>(ANTONIOLLI, 2016)</p>	<p>Maximizar as economias.</p> <p>Obter fornecedores e materiais certos.</p> <p>Estruturar negociações para resultados de qualidade.</p> <p>Aplicar verbalmente o contrato adequado. (ANDERSON; KATZ, 1998); (CROOM; ROMANO; GIANNAKIS, 2000); (D'AMICO <i>et al.</i>, 2017).</p>
Gerenciamento de Fornecedores	<p>Atrasos no tempo de entrega, atraso na produção, pedidos com erros e falta de integração. (SIMATUPANG; WRIGHT; SRIDHARAN, 2004)</p>	<p>Simplificar e automatizar auditorias de fornecedores.</p> <p>Analisar o desempenho do fornecedor.</p> <p>Orquestrar a avaliação do fornecedor por vários departamentos. (SAEED; MALHOTRA; GROVER, 2005); (JAYARAM; XU; NICOLAE, 2011); (PRAJOGO; CHOWDHURY; YEUNG, 2012); (ATASEVEN; NAIR, 2017).</p>
Gerenciamento Econômico	<p>Mau planejamento estratégico, empresas sem prosperidade em longo prazo. (SONNTAG, 2000); (CARAYANNIS; SAGI, 2001); (DEDRICK <i>et al.</i>, 2001), (WALTERS; BUCHANAN, 2001); (ALESSANDRI; BETTIS, 2003).</p>	<p>Estabilidade financeira.</p> <p>Estudar a exposição ao risco em organização.</p> <p>Reformulação da abordagem para estender a vida útil do equipamento antes de considerar novos equipamentos.</p> <p>Gerenciar e processar os produtos e serviços. (ANDERSEN, 2007); (FAHIMNIA <i>et al.</i>, 2017); (GENOVESE <i>et al.</i>, 2017); (SAUER; SEURING, 2017); (ZENG <i>et al.</i>, 2017).</p>
Integração Logística	<p>Problemas logísticos (atrasos na entrega, pedidos incompletos, entrega de produtos errados). (LEE; PADMANABHAN; WHANG, 2004.)</p>	<p>Visibilidade em consignação em trânsito. (Localização, <i>status</i> e alocações.)</p> <p>Remover obstáculos que impactam entrega ou variação de custo.</p> <p>Aproveitamento da tecnologia e ativação da tomada de decisão. (FARKAVCOVA; RIECKHOF; GUENTHER, 2018); (QAISER <i>et al.</i>, 2017); (BOENZI <i>et al.</i>, 2017); (SAYYADI; AWASTHI, 2017).</p>
Integração de Fornecedores	<p>Pouco compartilhamento de dados de vendas e informações de inventário entre os participantes. (LIN; LIN, 2006.)</p>	<p>Melhora do índice de desempenho de custos, garantindo o material certo.</p> <p>Estabelecimento de colaboração com fornecedores usando sistemas <i>online</i>.</p> <p>Trazer visibilidade às iniciativas estratégicas</p>

		Aproveitar o relacionamento com fornecedores em longo prazo. (CHEN <i>et al.</i> , 2017); (SQUIRE <i>et al.</i> , 2009); (CANZANIELLO; HARTMANN; FIFKA, 2017).
Canal de comunicação com cliente	Má qualidade de serviço ao cliente. (KELEPOURIS; MILIOTIS; PRAMATARI, 2008)	Satisfação do Cliente - Custo, Qualidade e Pontualidade. Experiência do usuário - Adoção universal, maximizar a economia. Reduzir o tempo de colocação no mercado automatizando processos. (KUO <i>et al.</i> , 2017); (LIM <i>et al.</i> , 2017); (FIORINI; JABBOUR, 2017); (YAWAR; SEURING, 2017).
Gestão de Custos	Ordens de compra a fornecedores com maior variação do que vendas, atrasos e baixo monitoramento. (LEE; PADMANABHAN; WHANG, 2004)	Melhorar a previsibilidade e visibilidade do fluxo de caixa em toda a Cadeia de Suprimentos. Monitorar movimentos de preços de componentes que impactam a lucratividade. Adaptar-se a mudanças nos padrões de gastos. (UM <i>et al.</i> , 2017); (KERAMYDAS <i>et al.</i> , 2017); (WU <i>et al.</i> , 2017); (SCHOLTEN; FYNES, 2017).
Gestão de Tempo	Falta de compartilhamento de informações. (ESFAHBODI; ZHANG; WATSON, 2016)	Automatizar o gerenciamento custoso de dados. Garantir conformidade para a obtenção de serviços oportunos. Sistemas de comunicação baseados em dispositivos móveis. (TARAFDAR; QRUNFLEH, 2017); (BLOME; SCHOENHERR; REXHAUSEN, 2013); (BRAUNSCHEIDEL; SURESH, 2009); (WU <i>et al.</i> , 2017).
Gestão de Investimentos	Planejamento e execução incorretos da percepção da demanda. (LEE; PADMANABHAN; WHANG, 2004)	Gerar demanda por bens e serviços. Gerenciar a base de fornecimento em várias categorias de produtos. Antecipar riscos e fornecer planos de mitigação. (LIAO <i>et al.</i> , 2017); (BUSSE <i>et al.</i> , 2017); (CHRISTOPHER; HOLWEG, 2017); (HE, 2017).

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A Cadeia de Suprimentos Tradicional possui dificuldades em suas tarefas que podem ser gerenciadas com o auxílio da *Internet* das Coisas (*IoT*). Tal controle permite melhor compreensão dos processos, pois reúne as informações obtidas em toda a cadeia. A *IoT* e seus facilitadores fornecem maior flexibilidade para gerenciar dispositivos físicos (WANG *et al.*, 2015).

Na Cadeia de Suprimentos Tradicional, os cronogramas são estáveis e nivelados, ou seja, a tarefa de gestão de serviços é realizada com pedidos fixos (GUNASEKARAN; NGAI, 2005), enquanto na Cadeia de Suprimentos com *IoT* a gestão de serviços é desempenhada proporcionando uma visão completa do processo, a fim de validar sua conformidade, possibilitando o rastreamento do desempenho dos serviços para simplificar e monitorar as execuções (KATHAWALA; ABDU, 2003).

Segundo Lambert (2008), para fazer a gestão operacional no cenário atual, é preciso definir os procedimentos para, então, criar estimativas. Essa tarefa com o auxílio de *IoT* pode ser automatizada se as operações estiverem alinhadas às necessidades de negócios; possibilitam, assim, obter respostas às exceções com antecedência para, então, gerenciar melhor os gastos e, conseqüentemente, reduzir-se o desperdício (KOCABASOGLU; PRAHINSKI; KLASSEN, 2007).

O abastecimento estratégico de uma Cadeia de Suprimentos Tradicional encontra atrasos e retrabalho como resultado de alterações constantes no planejamento e ausência de informações relevantes no processo (ANTONIOLLI, 2016). É possível na Cadeia de Suprimentos com *IoT* maximizar as economias realizadas escolhendo os fornecedores e materiais corretos para estruturar as negociações a fim de se reduzir o desperdício (D'AMICO *et al.*, 2017).

Atrasos no tempo de entrega, na produção e pedidos com erros são conseqüências da falta de integração no gerenciamento dos fornecedores na CS Tradicional (SIMATUPANG; WRIGHT; SRIDHARAN, 2004). Tais dificuldades podem ser evitadas com a análise do desempenho do fornecedor por diversos departamentos da CS com *IoT*, simplificando e automatizando auditorias dos envolvidos (ATASEVEN; NAIR, 2017).

O estudo da exposição ao risco da organização fica mais claro ao entendimento quando possui o apoio de *IoT* nas tarefas de gerenciamento econômico, possibilitando estabilidade financeira no gerenciamento de produtos e serviços (ZENG *et al.*, 2017). O gerenciamento econômico da CS Tradicional, por sua vez, possui como características o mau planejamento estratégico justificando as empresas não apresentarem prosperidade em longo prazo (ALESSANDRI; BETTIS, 2003).

Problemas logísticos como atrasos na entrega de produtos, pedidos incompletos e entrega de produtos errados são dificuldades presentes na integração logística da Cadeia de Suprimentos Tradicional (LEE; PADMANABHAN; WHANG,

2004), que podem ser solucionadas por meio da visibilidade do produto em trânsito aproveitando a tecnologia *IoT* para atualizar o sistema e monitorar todo o processo (FARKAVCOVA; RIECKHOF; GUENTHER, 2018).

Segundo Lin e Lin (2006), a integração de fornecedores na CS Tradicional há pouco compartilhamento de dados de vendas e informações de inventário entre os participantes. Já na CS com *IoT*, segundo Canzanirillo *et al.* (2017), é possível melhorar o índice de desempenho de custos para garantir o material correto, bem como estabelecer colaboração com fornecedores a fim de trazer visibilidade às iniciativas estratégicas.

Para Kelepouris *et al.* (2008), a má qualidade de serviço ao cliente é uma característica presente no canal de comunicação com o cliente da Cadeia de Suprimentos Tradicional. Com a utilização de *IoT*, é possível fazer a integração do cliente trazendo a experiência do usuário para melhorar a satisfação quanto a custo, qualidade e pontualidade (KUO *et al.*, 2017).

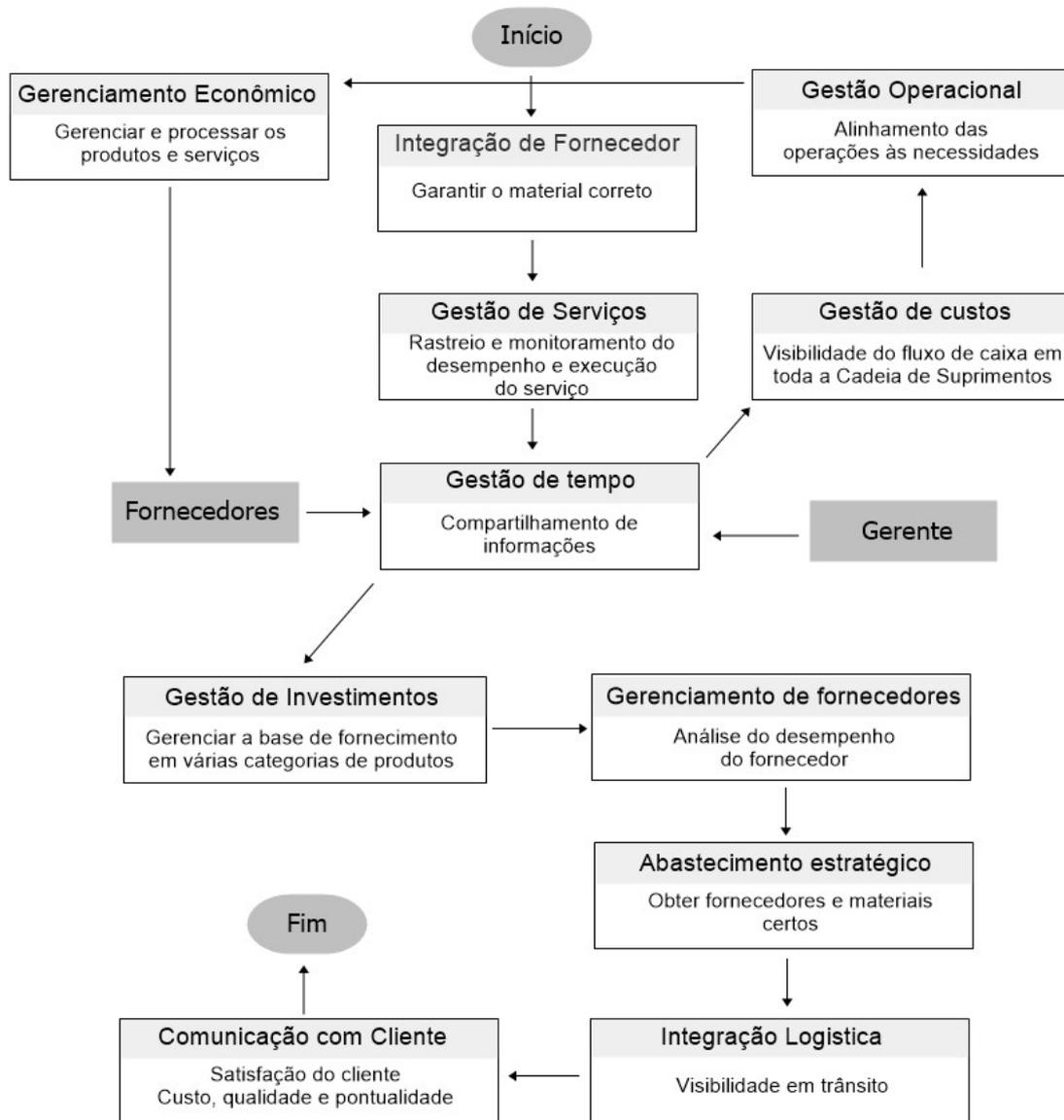
A gestão de custos enfrenta problemas com ordens de compra a fornecedores com maior variação do que vendas, atrasos e baixo monitoramento na CS tradicional (LEE; PADMANABHAN; WHANG, 2004). Com o monitoramento na Cadeia de Suprimentos baseado em *IoT*, melhora a previsibilidade do fluxo de caixa, acompanhando os movimentos de preços de componentes que impactam a lucratividade adaptando-se a mudanças nos padrões de gastos (UM *et al.*, 2017).

No processo de gestão do tempo, o compartilhamento de informações é evidente na Cadeia de Suprimentos com *IoT*. Por meio de dispositivos móveis e do computador, é possível fazer a automatização do gerenciamento de dados garantindo conformidade (WU *et al.*, 2017).

Segundo Lee *et al.* (2004), há planejamento e execução incorretos da percepção da demanda na gestão de investimentos da Cadeia de Suprimentos Tradicional, enquanto a *IoT* possibilita gerenciar a base de fornecimento por várias categorias de produtos, antecipar riscos e fornecer planos de mitigação para a Cadeia de Suprimentos (LIAO *et al.*, 2017).

A Figura 26 ilustra o *Framework* baseado na literatura, proposto para auxiliar a implantação de *IoT* no GCS com as informações mais significativas e as principais características encontradas nos *Frameworks* apresentados.

Figura 26 – Framework proposto para a adoção de IoT no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Elaborada pelo Autor.

O fluxo do *Framework* para a adoção de IoT no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos inicia-se na integração com o fornecedor, em que é feita a introdução dos produtos dos fornecedores. Após a garantia do material correto, um leitor *RFID* faz o escaneamento dos produtos na tarefa de gestão dos serviços e armazena as informações no banco de dados.

O banco de dados reúne os dados do produto em todos os processos. Por meio do compartilhamento de informações, é possível fazer o rastreo e monitoramento do desempenho e execução do serviço/produto a qualquer hora e lugar. A gestão de

tempo permite aos envolvidos na cadeia melhor compreensão dos processos, trazendo, assim, transparência à gestão e maior facilidade no processo de comunicação.

As informações contidas na tarefa de gestão do tempo, compartilhadas com a gestão de custos, possibilitam ao gestor visibilidade do fluxo de caixa em toda a Cadeia de Suprimentos, proporcionando um alinhamento das operações às necessidades na gestão operacional. Tal alinhamento facilita ao gestor processar e monitorar produtos e serviços no gerenciamento econômico da Cadeia de Suprimentos, pois é possível encontrar a situação do produto, da conta e ganhos.

As informações contidas no banco de dados são compartilhadas entre os fornecedores e gerentes. Com base no banco de dados é possível obter informações do produto que serão utilizadas para gerenciar a base de fornecimento em várias categorias de produtos na gestão dos investimentos.

Na fase de gerenciamento de fornecedores, é feita a avaliação da qualidade do produto dos fornecedores, bem como a análise do desempenho do fornecedor. Tal análise e avaliação auxiliam ao gestor selecionar melhor os produtos e fornecedores em sua empresa para o abastecimento estratégico. A situação do produto do fornecedor é atualizada no banco de dados do sistema e, a partir das informações nele contidas, é feita a compra dos produtos selecionados dos fornecedores, processando-os e armazenando-os.

Para a entrega do produto, a integração logística é realizada por transporte inteligente, ou seja, utilizando-se tecnologia *Global Positioning System* (GPS) no processo de distribuição é possível deter a visibilidade do produto em trânsito.

O compartilhamento de informações maximiza o sucesso com a comunicação do cliente. A entrega do produto ao cliente, alinhada às informações do pedido, melhora a satisfação do cliente em relação ao custo, qualidade e pontualidade.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Os métodos visam responder aos problemas levantados e atingir os objetivos da pesquisa ou do estudo de forma eficaz com o mínimo de interferência da subjetividade do pesquisador (SELLTIZ; WRIGHTSMAN; COOK, 1975).

A metodologia refere-se ao estudo sistemático e coerente dos métodos empregados, seus fundamentos, a validade e sua relação com as teorias científicas (OLIVEIRA, 2011).

3.1 CRITÉRIOS PARA A REVISÃO DE LITERATURA

Para o estudo de como a literatura apresenta a *Internet das Coisas (IoT)* em Cadeia de Suprimentos (CS), *Frameworks* e as tecnologias empregadas para a melhoria do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), fez-se uma revisão da literatura de artigos científicos e publicações de consultorias consideradas no cenário internacional, nas bases de dados acadêmicos: Capes, Emerald, Science Direct, Taylor & Francis, ReserchGate, Scopus e ProQuest.

Utilizaram-se as seguintes combinações de palavras-chave: “*Supply Chain*”, “*Internet of Things*”; “*Supply Chain*”, “*Industry 4.0*”; “*Internet of Things*”, “*Industry 4.0*”; “*Framework*”, “*Industry 4.0*”; “*Challenges for implementing Industry 4.0*”; “*Definition of Framework*”; “*Questionnaire Delphi*”, “*SCM*”; “*Framework*”, “*GSCM*”; “*Framework*”, “*SCM*”; “*Framework*”, “*Supply Chain Management*”; “*Framework*”, “*IoT*”.

Embora tenha sido identificado o total de 1.240 artigos como resultado dessa busca com base nas palavras-chave utilizadas, 1.130 desses artigos foram descartados, dos quais 348 eram repetidos e 782 não traziam informações pertinentes ao assunto. Restaram, assim, 110 artigos cujo conteúdo está analisado no Capítulo 2 deste trabalho.

A Tabela 3 ilustra como se fez a pesquisa com as palavras-chave utilizadas, as condições, os parâmetros de busca e o número de artigos encontrados.

Tabela 3 – Pesquisa Bibliográfica

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA				
TEMA: PROPOSTA DE <i>FRAMEWORK</i> PARA ADOÇÃO DE <i>IoT</i> NO GERENCIAMENTO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS				
CONDIÇÕES GERAIS DE PESQUISA				
Palavras-Chave	Operador lógico	Condição	Parâmetros de busca no portal	Número de artigos encontrados em 08.08.2018
<i>Supply Chain / Internet of Things</i>	AND	É EXATO	NO TÍTULO/ NO TÍTULO	159
			NO ASSUNTO/QUALQUER	205
NO TÍTULO/ NO TÍTULO			22	
			35	
			28	
			1	
<i>Supply Chain / Industry 4.0</i>				
<i>Internet of Things / Industry 4.0</i>				
<i>Framework / Industry 4.0</i>				
<i>Challenges for implementing industry 4.0</i>				
<i>Definition of Framework</i>			NO TÍTULO	19
Palavras-Chave	Operador lógico	Condição	Parâmetros de busca no portal	Número de artigos encontrados em 19.06.2019
<i>Framework /GSCM</i>	AND	É EXATO	NO TÍTULO/ NO TÍTULO	4
			NO ASSUNTO/QUALQUER	1
			NO TÍTULO/ NO TÍTULO	5
<i>Framework /SCM</i>			NO TÍTULO/ NO TÍTULO	10
			NO ASSUNTO/QUALQUER	7
<i>Framework /Supply Chain Management</i>			NO TÍTULO/ NO TÍTULO	16
			NO TÍTULO/ NO TÍTULO	150
<i>Framework /IoT</i>			NO ASSUNTO/QUALQUER	42
			NO TÍTULO/ NO TÍTULO	536

Fonte: Elaborada pelo Autor.

3.2 MÉTODO *DELPHI*

O prognóstico desenvolvido para o método *Delphi* representa um programa cuidadosamente desenhado com entrevistas individuais, sequenciais e intercaladas com informações e opiniões (HELMER; RESCHER, 1959).

O método *Delphi* surgiu a partir de estudos dirigidos em 1950 pela *Rand Corporation* (Pesquisa e Desenvolvimento), instituição que atua com desenvolvimento de pesquisa e diagnósticos para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América. Foi o método construído para se obterem os dados mais confiáveis de um grupo de especialistas de determinada área explorada (DALKEY; HELMER, 1963).

Delphi é um método para se obter consenso qualitativo de um grupo de indivíduos. Seu principal apelo é a maneira como organiza a comunicação em conjunto. Os componentes básicos do método são: a criação de um painel de especialistas que estabelecem os pesos para os objetivos relevantes da formulação de políticas, possivelmente usando uma série de questionários e um procedimento de *feedback* que fornece as descobertas ao painel (HELMER, 1966).

A técnica *Delphi* supera algumas fraquezas encontradas em outros métodos de previsão. Isso acontece, pois alguns métodos de previsão dependem de um único especialista e essa dependência pode causar divergência na previsão devido à falta de conhecimento do indivíduo sobre dado assunto ou por causa de preconceitos nas percepções e opiniões do indivíduo (LINSTONE; TUROFF, 1975).

Linstone e Turoff (1975) afirmam que há diversas implementações e variações do método *Delphi* clássico original e todas compartilham quatro características centrais. Primeiro, todos empregam um painel ou grupo de painéis compostos por especialistas experientes. Em vez de tentar reunir uma amostra estatisticamente representativa, a técnica *Delphi* utiliza um painel de especialistas propositadamente selecionados para opinar sobre um problema ou situação.

A segunda característica diz que todos os membros do painel de especialistas devem permanecer desconhecidos entre si durante a execução do estudo. O anonimato entre os membros protege contra os efeitos de vieses individuais, influências pessoais e pensamentos em conjunto sobre a capacidade de chegar a um

consenso, permitindo, assim, que os especialistas ofereçam alternativas e conhecimentos livremente e sem medo de represálias ou julgamento. A terceira característica mencionada como a comunicação grupal é utilizada para gerenciar o *feedback* e desenvolver o consenso entre o painel de especialistas (LINSTONE; TUROFF, 1975).

A quarta característica é determinada por *feedback* controlado e iteração. Nessa fase num estudo *Delphi*, o painel de especialistas recebe *feedback* sobre a qualidade da decisão e o nível de consenso. Isso permite aos especialistas ter um debate estruturado sobre os méritos das alternativas. A iteração, por meio da qual o painel de especialistas revê e avalia as alternativas de várias fases controladas, oferece oportunidades para reflexão de opiniões e avaliações de seus pares e para utilizar, moldar e reforçar suas concepções (LINSTONE; TUROFF, 1975).

Tal método solicita e reúne julgamentos de especialistas por meio de uma série de questionários ou entrevistas (DALKEY; HELMER, 1963). Fornece um processo efetivo de comunicação em grupo e permite que o painel de especialistas lide com problemas complexos (LINSTONE; TUROFF, 1975).

Linstone e Turoff (1975) recomendam de duas a quatro rodadas com uma preferência por menos rodadas, se níveis suficientes de consenso puderem ser alcançados.

Após uma rodada de entrevistas pelo método *Delphi*, as respostas são analisadas e, com base no resultado, um novo questionário é desenvolvido e encaminhado aos especialistas entrevistados. A natural interação do método permite disponibilizar informações aos membros de pesquisa a cada rodada. Eles, portanto, são capazes de reconsiderar as informações que forneceram em rodadas anteriores (PROCTER; HUNT, 1994).

Czinkota e Ronkainen (1997) afirmam que, para obter sucesso na pesquisa utilizando o método *Delphi*, é essencial garantir a participação dos especialistas corretos e que entendam do assunto.

No final da década de 1950 e no início da década de 1960, o método *Delphi* foi aplicado à área tecnológica, administrativa e pesquisa operacional (HELMER, 1966).

Posteriormente, na década de 1970, o método foi utilizado nas áreas de planejamento, avaliação de projetos e análise de custo-benefício (SHEFER; STROUMSA, 1982).

O *Delphi* não requer que especialistas se encontrem fisicamente (ROHRBAUGH, 1979).

Para Robinson (1991) e Martino (1993), o *Delphi* é um método de procedimento sistemático para evocar a opinião de especialistas. O resultado pretendido com o método é um consenso de confiança entre os especialistas selecionados. Geralmente, o *Delphi* é conduzido por questionários, os selecionados permanecem desconhecidos entre si e a interação é gerenciada no modo anônimo.

O método demonstrou fornecer opiniões mais precisas do que outras técnicas de decisão de grupo, como grupos de foco e técnica de grupo nominal (ROWE; WRIGHT, 1999).

Uma das principais motivações do desenvolvimento do método *Delphi* foi a minimização da influência de indivíduos dominantes, pressão de grupo e comunicação irrelevante. O método visa reunir pessoas conhecedoras que possuam ideias e informações valiosas sobre o assunto abordado. Existem várias maneiras de identificar essas "pessoas conhecedoras"; por exemplo, recomendações de outros especialistas ou em revisões de literatura (ROWE; WRIGHT, 1999).

O método *Delphi* depende da opinião de especialistas e tem como objetivo introduzir as vantagens da interação grupal no processo decisório. É considerado útil quando o ponto de vista e as opiniões de especialistas forem a única fonte de informação para questões em longo prazo (BLIND; CUHLS, 2001).

Os estudos *Delphi* podem ser adaptados para vários problemas, destacando-se a importância do grupo de especialistas selecionados para apoiar o desenvolvimento de *Frameworks* (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

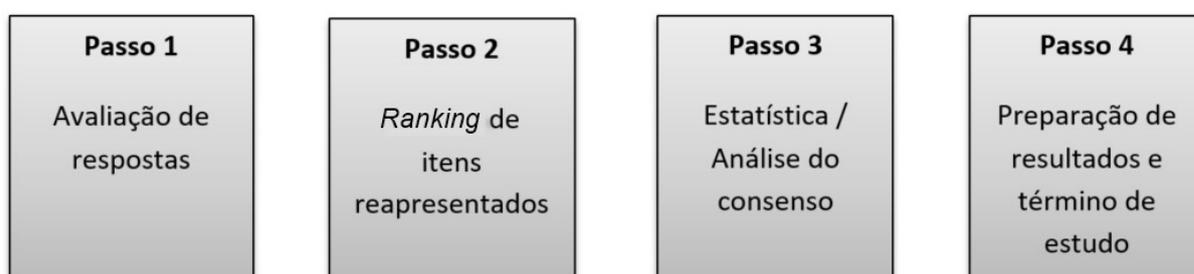
Okoli e Pawlowski (2004) descrevem o método *Delphi* como um processo de comunicação de um grupo interativo, permitindo sistematicamente a influência mútua e anônima entre especialistas espalhados em diferentes regiões. O tamanho do grupo de especialistas não influencia de forma estatística, mas da dinâmica para chegar a

um consenso entre especialistas, portanto a literatura recomenda entre 10 a 18 especialistas na perspectiva *Delphi*.

Segundo Okoli e Pawlowski (2004), a justificativa para essa escolha de método dá-se, pois uma amostra não representativa de especialistas é mais apta a chegar a uma decisão correta, comparada a uma amostra representativa de não especialistas.

A Figura 27 ilustra um exemplo da sequência de passos de uma rodada (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

Figura 27 – O Processo de Análise



Fonte: Adaptada de Okoli e Pwalowski (2004).

Uma convergência adequada de opiniões é muitas vezes alcançada em três rodadas, que também oferecem um equilíbrio razoável entre os requisitos de recursos e os objetivos de consolidação, avaliação e aperfeiçoamento (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

A força do método *Delphi* corresponde ao fato de os pesquisadores não iniciarem com um conjunto de expectativas sobre as causas ou motivações subjacentes de um fenômeno em particular. Em vez disso, o método *Delphi* permite que o pesquisador descubra as razões que levaram ao fenômeno e, em seguida, use essas percepções para informar investigações futuras, bem como uma abordagem fundamentada da teoria para o desenvolvimento (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

Para Daniel e White (2005), o método *Delphi* é especialmente adequado para esforços de pesquisa exploratória e de construção teórica que envolvam questões complexas e multidisciplinares, especialmente se o foco da pesquisa forem análises de tendências novas ou futuras.

O anonimato do método *Delphi* fornece vantagens ao se utilizarem opiniões de diversos especialistas, evitando-se armadilhas de intimidação e transferência de informações (OGDEN *et al.*, 2005).

Para Keeney *et al.* (2006), existem muitas variantes do método em questão. De início, o *Delphi* consiste em pelo menos três rodadas de questionários formais, e os entrevistados são anônimos entre si. O estudo *Delphi* é construído sob *feedback* controlado e interativo, ou seja, a cada etapa metodológica, os especialistas podem rever e repensar suas respostas baseadas nas informações prestadas. Por fim, o estudo *Delphi* apresenta um resumo estatístico das respostas do grupo.

O método *Delphi* é considerado um instrumento de pesquisa quando existe lacuna de conhecimento sobre algum problema ou fenômeno. O *Delphi* funciona com efetividade quando o objetivo é melhorar o entendimento do problema, oportunidades, soluções e desenvolver prognósticos (SKULMOSKI; HARTMAN; KRAHN, 2007).

Segundo Bendaña *et al.* (2008) e Lucko *et al.* (2009), a maioria dos artigos que consideram o uso do método *Delphi* mostra como a técnica é conduzida usando questionários. Alguns autores, porém, referem-se à possibilidade de empregar o *Delphi* usando entrevistas.

Painéis *Delphi* têm sido usados há muito tempo para previsão, pois sua técnica é particularmente valiosa em situações de informação insuficiente (CZAPLICKA-KOLARZ; STANCZYK; KAPUSTA, 2009). Além disso, é um método de apoio à tomada de decisão e previsão estratégica (LANDETA, 2006).

O método *Delphi* é uma técnica de pesquisa popular que traz opiniões de especialistas ou palestrantes, mantendo a unanimidade de opinião sobre determinado assunto (PRUSTY; MUKHERJEE; MOHAPATRA, 2010).

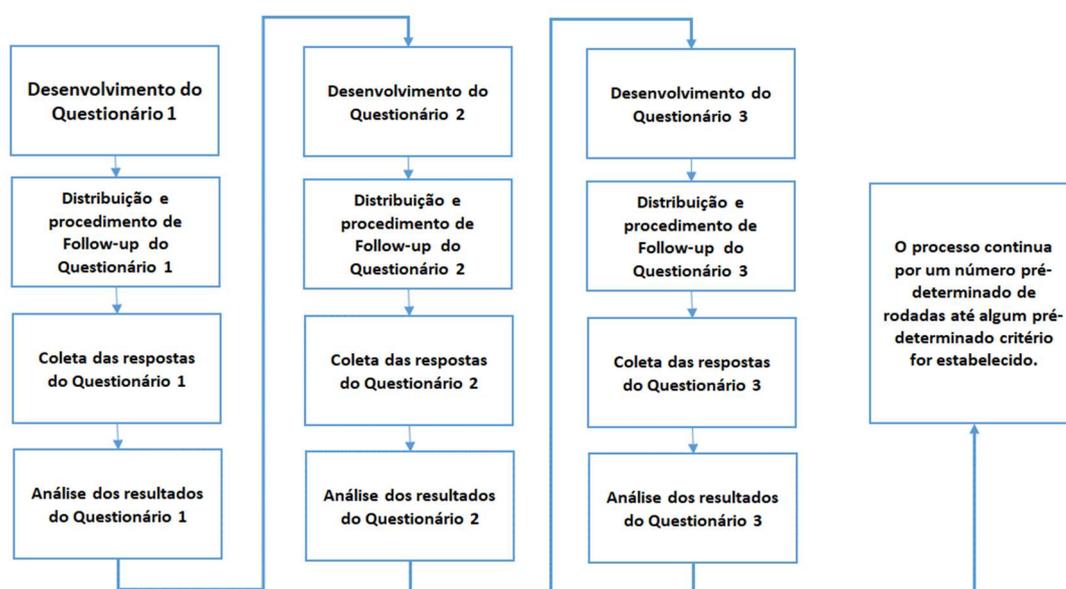
Pesquisas recentes de Landeta (2006), Hasson e Keeney (2011) e Anderson-Parente e Parente (2011) concluíram que o método *Delphi* comprova sua validade e confiabilidade, se rigorosamente executado.

No contexto do GCS, a técnica *Delphi* tem sido utilizada esporadicamente. Exemplos incluem o uso de pesquisas *Delphi* por Piecyk e McKinnon (2010) para identificar os fatores que afetam o transporte rodoviário de mercadorias. Enquanto

Akkermans, Bogerd, Yucesan e Van Wassenhove (2003) pesquisaram sobre o futuro impacto que o planejamento de recursos da empresa pode ter no GCS, Von der Gracht e Darkow (2010) desenvolveram cenários para provedores de serviços de logística. Melnyk *et al.* (2009) e Ogden *et al.* (2005) forneceram *insights* sobre possíveis desenvolvimentos futuros no GCS.

A Figura 28 ilustra um típico exemplo de como normalmente o *Delphi* funciona (SOURANI; SOHAIL, 2015).

Figura 28 – O Processo *Delphi*



Fonte: Adaptada de Sourani e Sohail (2015).

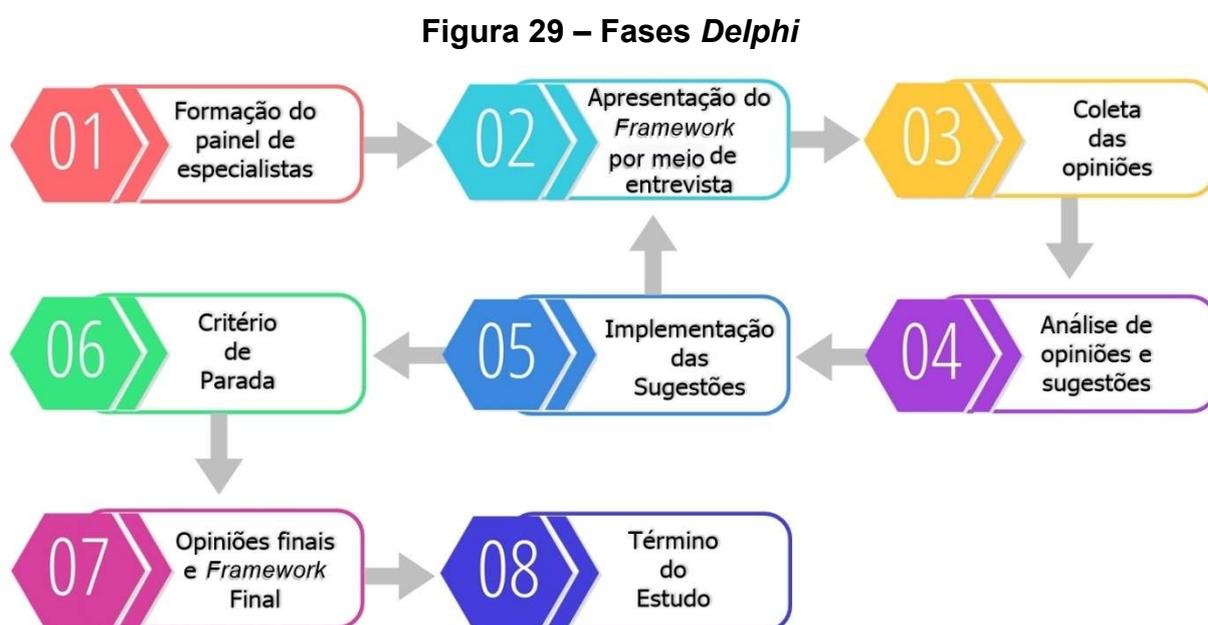
O método *Delphi* é um procedimento sistemático normalmente empregado para atingir um consenso confiável entre a opinião de especialistas (SOURANI; SOHAIL, 2015).

Conseqüentemente, o método *Delphi* também pode ser um contribuinte valioso para os sistemas de conselheiros-juizes, como é conhecido na tomada de decisões (ECKEN; PIBERNIK, 2015).

Para Winkler e Moser (2016), o *Delphi* é bastante mencionado como ferramenta útil em condições de graves incertezas. Isso ocorre quando há investigação nos julgamentos dos especialistas voltados para questões complexas.

Para a realização da avaliação do *Framework* para a adoção de *Internet* das Coisas (*IoT*), no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) da indústria de Autopeças, foi utilizado o método *Delphi*, por ser capaz de coletar opiniões de especialistas no assunto, executando, assim, eficiente medida que pode validar a proposta deste estudo.

A Figura 29 ilustra a sequência de Fases para a realização do *Delphi* neste estudo.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

A Fase 1 é a formação do painel de especialistas. Nessa fase são selecionados os participantes do processo que contribuirão com suas opiniões, as “pessoas conhecedoras”. Foram selecionados 17 especialistas de acordo com o porte das empresas onde trabalham, sendo o critério de corte o faturamento mínimo mensal de R\$ 2 milhões. Tais profissionais são altamente reconhecidos no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos da indústria de Autopeças e todos permaneceram desconhecidos entre si até o término do estudo.

O anonimato dos entrevistados no painel permite a livre expressão de opinião sem medo de represálias ou julgamento, evitando vieses individuais, influências pessoais, armadilhas de intimidação e transferência de informações.

A Tabela 4 ilustra a especificação do painel de especialistas, com dados da posição do especialista na empresa atual, sua idade, tempo de experiência, tempo de registro na empresa e o faturamento mensal da empresa.

Tabela 4 – Painel de Especialistas

N.º	Posição na empresa	Idade (anos)	Tempo de experiência (anos)	Tempo de registro na empresa (anos)	Faturamento bruto mensal aproximado (milhões em reais)
1	Analista de <i>Supply Chain</i> Sênior	42	15	9	15
2	Analista de <i>Supply Chain</i> Sênior	29	6	2	8
3	Analista de Compras Sênior	32	7	6	5
4	Analista de Logística Sênior	35	10	10	10
5	Coordenador de Logística	58	30	20	19
6	Coordenador de Logística	49	15	9	13
7	Coordenador de Manufatura	31	5	4	6,8
8	Gerente de <i>Supply Chain</i>	30	8	5	75
9	Gerente de <i>Supply Chain</i>	39	11	8	15
10	Gerente de Compras	51	27	18	20
11	Gerente de Compras	44	22	10	90
12	Gerente de Logística	33	12	4	50
13	Gerente de Logística	41	15	6	90
14	Gerente de Manufatura	40	19	9	100
15	Gerente de Manufatura	56	30	23	40
16	Supervisor de Logística	33	10	8	3
17	Supervisor de <i>Supply Chain</i>	46	21	13	10

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Além de o faturamento mensal da empresa ser de no mínimo R\$ 2 milhões, outras informações foram consideradas para o critério de seleção dos especialistas, tais como: ter no mínimo 5 anos de experiência e 4 anos de registro na empresa.

As entrevistas foram realizadas entre agosto e setembro de 2019 e suas identidades mantidas em sigilo para a preservação de suas informações pessoais.

Após a formação do painel, na Fase 2 os especialistas foram apresentados ao *Framework* proposto com base na literatura (Capítulo 2) por meio de entrevista estruturada, quando foram coletadas as opiniões sobre a qualidade do *Framework* proposto, bem como as possíveis vantagens, desvantagens, maiores dificuldades de aplicação e possíveis benefícios que o sistema traria para a empresa estudada.

Na Fase 3, as opiniões fornecidas pelos especialistas na entrevista foram coletadas e realizado o acompanhamento de suas repostas. Iniciou-se a Fase 4 em que se executou a análise das respostas. Nessa, reuniram-se todas as respostas das entrevistas com os especialistas e avaliaram-se os benefícios, as melhorias, oportunidades e vantagens que o *Framework* pode provocar e, com base nela, as opiniões de mudanças do *Framework* (sugestões) mais pertinentes foram implantadas na Fase 5.

O *Framework* atualizado com as sugestões dos especialistas foi novamente apresentado por entrevista, retornando-se à Fase 1; em seguida, coletadas e analisadas as opiniões. Caso o resultado da análise fosse um consenso, então se implementaram as sugestões e alcançou-se o critério de parada (Fase 6). Caso a resposta da análise não fosse um consenso, então as sugestões seriam implementadas e iniciada uma nova rodada com uma nova entrevista (Fase 1).

Neste estudo, alcançou-se o consenso entre os entrevistados realizando-se o total de 2 rodadas de entrevistas, por isso esse foi o critério de parada adotado. Isso proporcionou consolidação, avaliação e aperfeiçoamento durante a aplicação do método *Delphi*.

Terminada a fase de entrevistas, iniciou-se a Fase 7 com as opiniões finais. O resultado do *Delphi* foi implementado no *Framework* final (Capítulo 6) e, então, o estudo finalizado (Fase 8).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, demonstra-se a adequação do *Framework* resultante da revisão bibliográfica por meio dos resultados advindos da aplicação do método *Delphi*, apresentados no subcapítulo 4.1 e as discussões de tais resultados apresentadas no subcapítulo 4.2.

4.1 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DELPHI

A fim de validar, aperfeiçoar e refinar o *Framework* proposto (Capítulo 2) para a adoção de *Internet* das Coisas (*IoT*) no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) da indústria de Autopeças, foram feitas entrevistas com 17 especialistas que formaram o painel. O método *Delphi* foi o instrumento qualitativo utilizado para alinhar as informações levantadas na literatura.

4.1.1 Primeira rodada

Na primeira rodada da aplicação de entrevista com os especialistas, foi-lhes apresentado o *Framework* proposto com base na literatura (Figura 26). Tal *Framework* reuniu as principais características encontradas para ser validado e melhorado com a contribuição das opiniões e sugestões dos especialistas.

Durante a entrevista, todas as tarefas contidas no *Framework* foram expostas a cada um dos especialistas entrevistados separadamente. Em seguida, os especialistas pontuaram algumas sugestões para mudanças ilustradas na Tabela 5.

Tabela 5 – Sugestões dos especialistas para mudanças no *Framework*

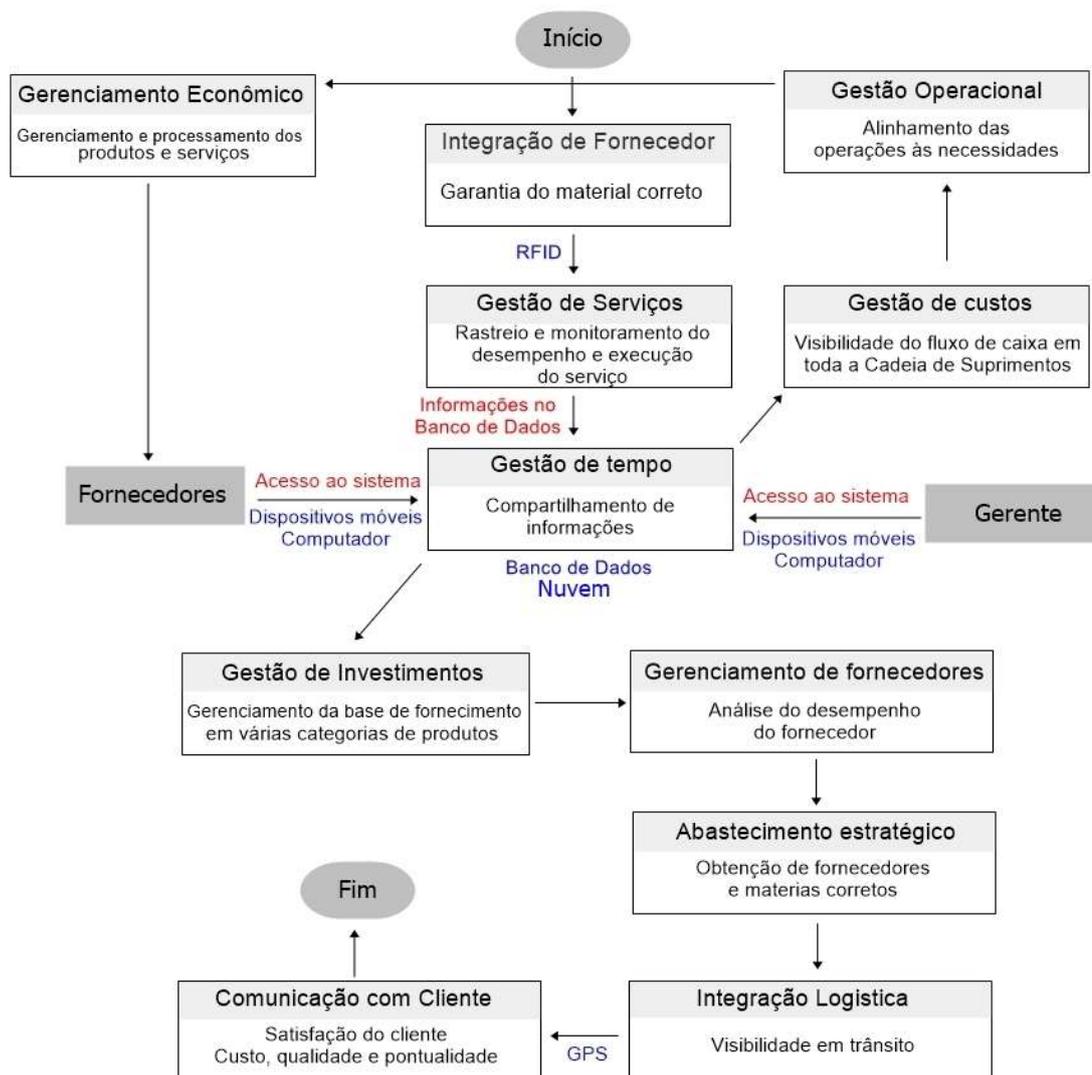
Sugestões de mudanças dos especialistas na 1. ^a rodada de entrevista	Consenso de sugestões
Ausência das tecnologias <i>IoT</i> no <i>Framework</i>	82,35%
Especificação dos fluxos de informações	88,23%
Alteração de "Gerente" no <i>Framework</i>	58,82%
Alteração na ordem do fluxo da Cadeia de Suprimentos (Gerenciamento de Fornecedores e Abastecimento Estratégico)	64,70%
Remover interseção de setas	70,58%

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Após a primeira rodada de entrevistas ser realizada, as sugestões e opiniões dos especialistas foram coletadas e analisadas para o reconhecimento e observação dos resultados.

A ausência das tecnologias *IoT* no *Framework* foi pontuada por 14 dos 17 especialistas, o que mostrou, então, 82,35% de concordância para a mudança. Sugeriu-se especificar os objetos tecnológicos: *RFID*, *GPS*, Banco de Dados/nuvem, dispositivos móveis e computador. A Figura 30 ilustra as sugestões dos especialistas.

Figura 30 – Framework com especificação dos objetos tecnológicos

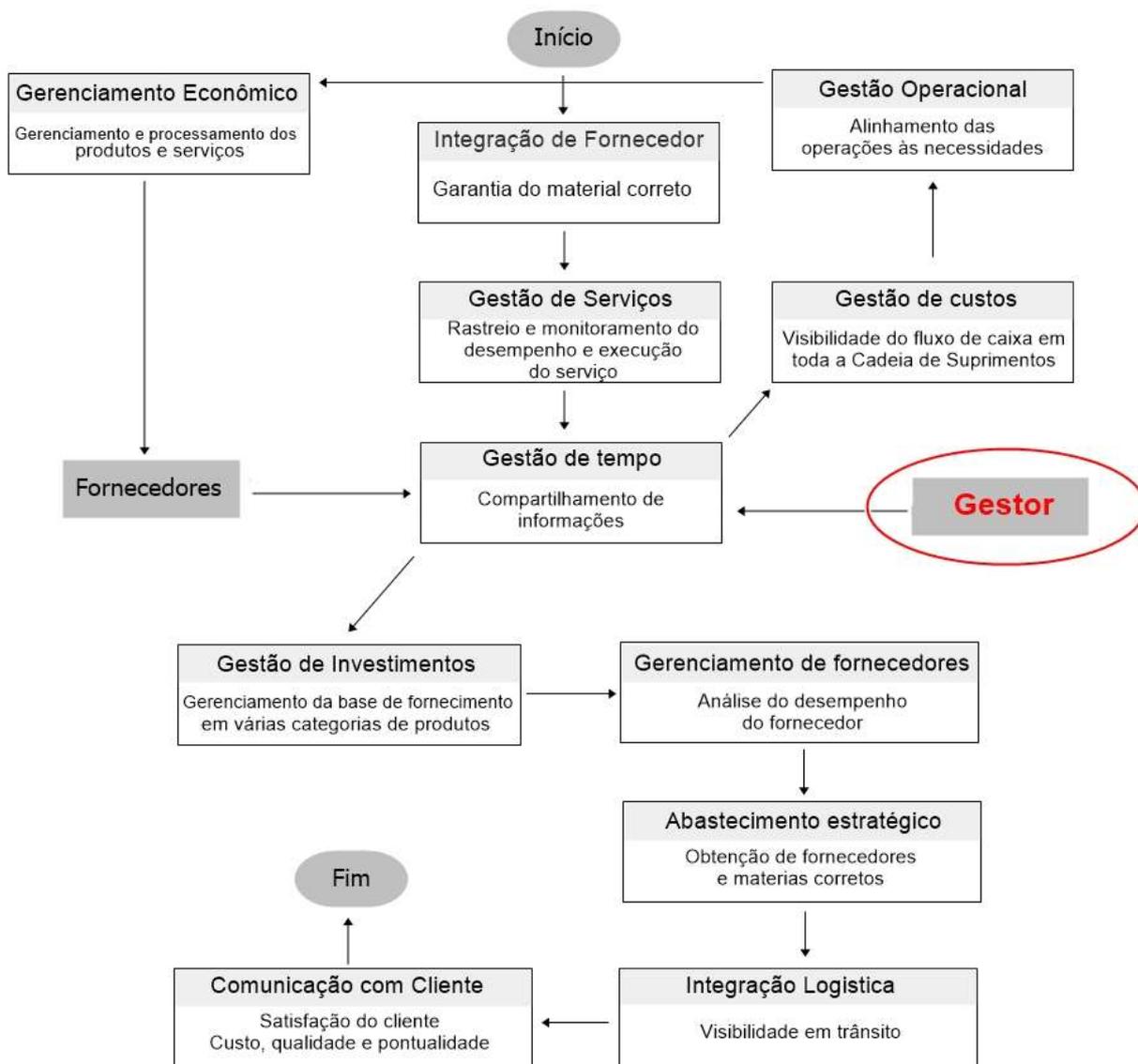


Fonte: Elaborada pelo Autor.

Outra menção feita pelos entrevistados foi a especificação dos fluxos de informações: 88,23% disseram que o *Framework* estava misturando o conceito de informação com o conceito físico, e sua sugestão foi a especificação das setas existentes nos fluxos.

A alteração de acesso ao “Gerente” da Cadeia de Suprimentos também foi avaliada pelos especialistas. Sua sugestão proposta foi substituir para “Gestor”, pois será o gestor quem tomará a decisão com as informações obtidas no banco de dados. Tal proposta foi feita por 10 especialistas, o que corresponde a 58,82% dos entrevistados. A Figura 31 ilustra a sugestão de mudança.

Figura 31 – Framework com o Gestor

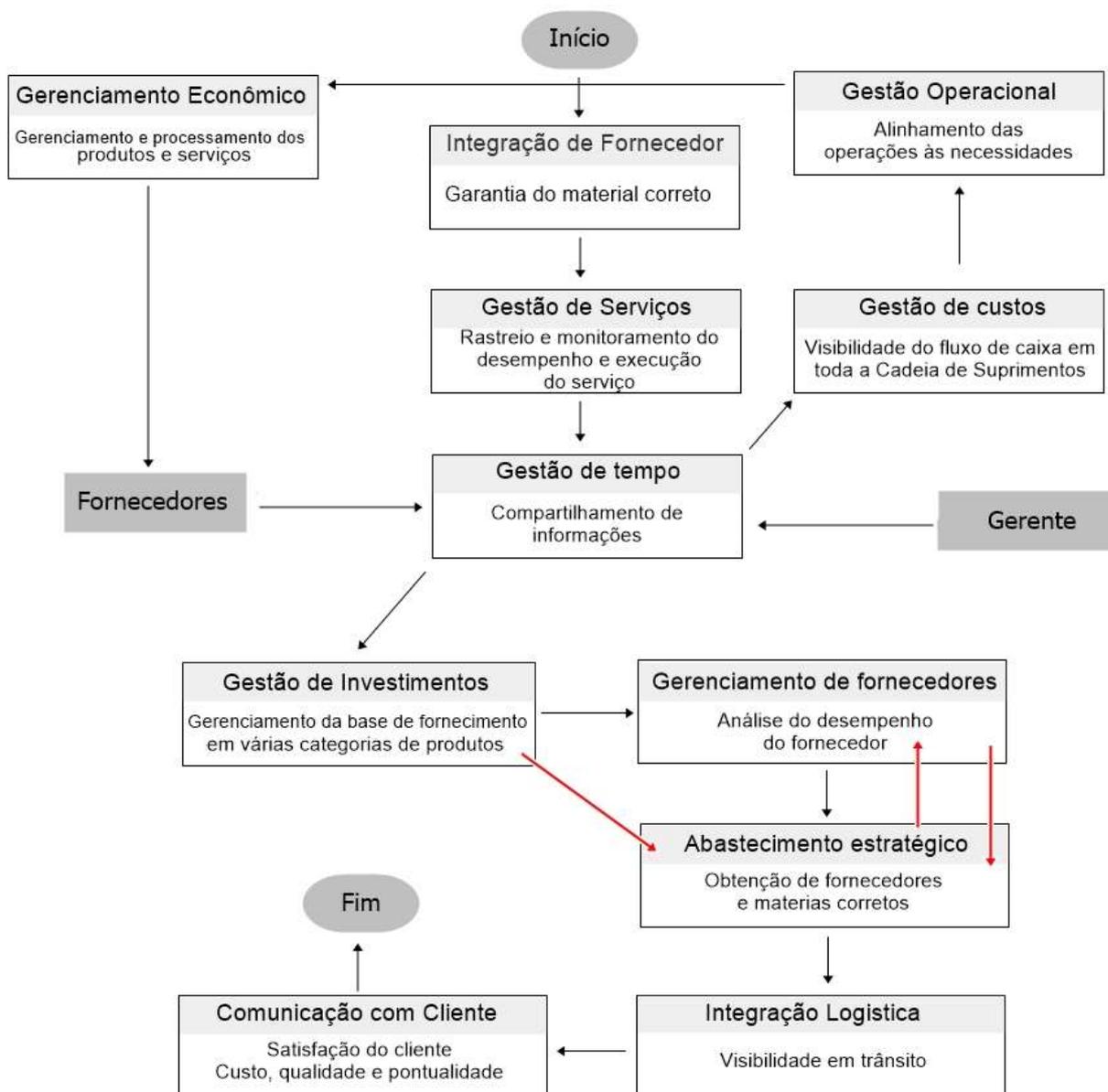


Fonte: Elaborada pelo Autor.

No *Framework* apresentado, para realizar a tarefa de abastecimento estratégico é preciso fazer antes o gerenciamento de fornecedores, e 11 especialistas (64,70%) afirmaram que comumente o abastecimento estratégico ocorre antes do gerenciamento dos fornecedores, ou seja, primeiro obtém-se a informação dos fornecedores e materiais corretos para, então, analisar-se o desempenho do fornecedor.

A Figura 32 ilustra a sugestão da ordem do fluxo da Cadeia de Suprimentos sugerida pelos especialistas durante a primeira rodada de entrevistas.

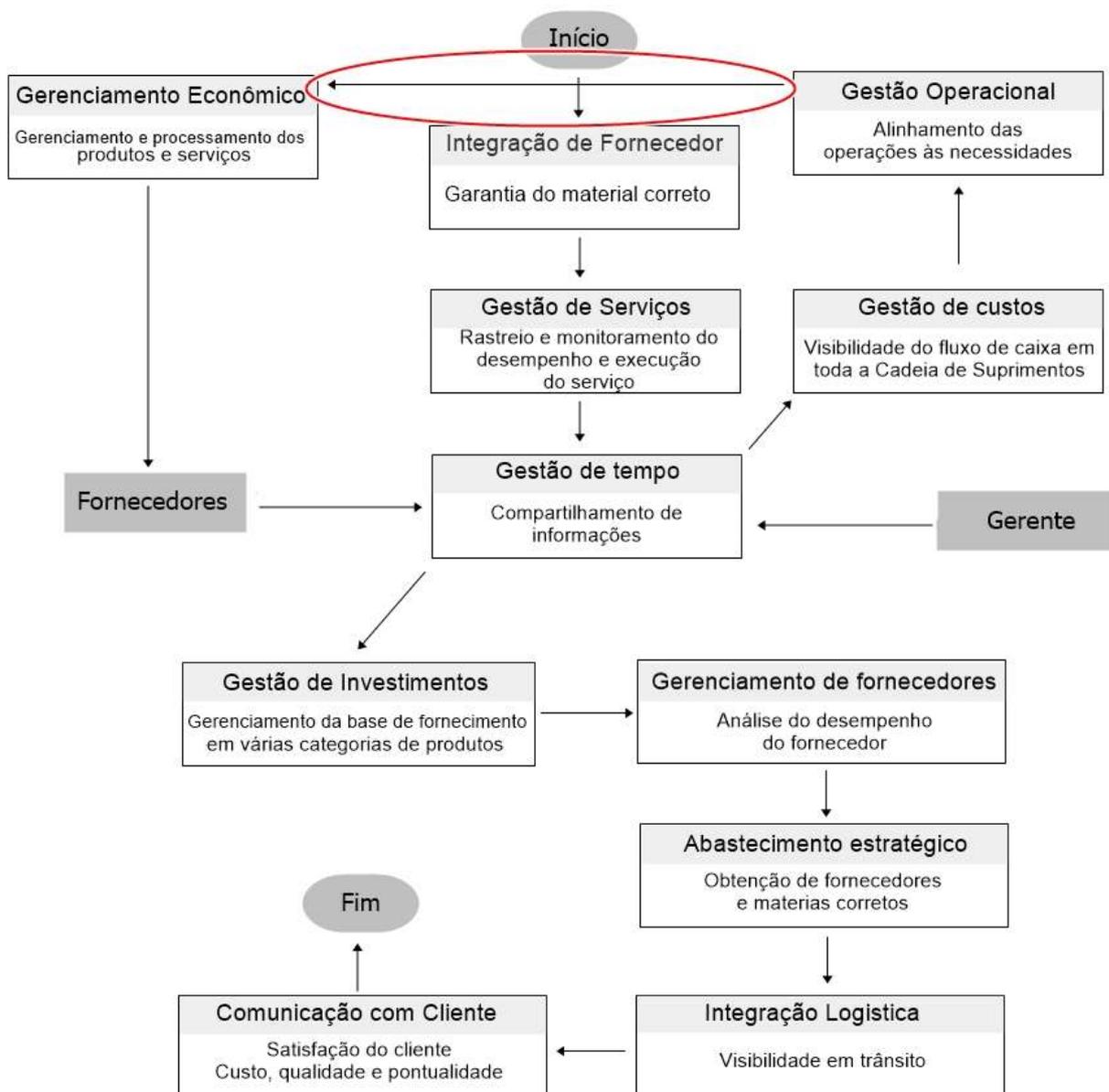
Figura 32 – Framework com a sugestão da ordem das tarefas



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Remover a interseção das setas foi pontuado por 12 especialistas (70,58%). A sugestão por eles apresentada foi distribuir as tarefas de maneira que não houvesse linhas que se cruzassem, assim como ilustrado na Figura 33.

Figura 33 – Framework com interseção de setas



Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.1.2 Segunda rodada

Com base nos resultados da primeira rodada (Tabela 5), as opiniões e sugestões mais pertinentes foram implantadas no *Framework* inicial no Capítulo 2, gerando um *Framework* otimizado que novamente foi apresentado aos especialistas por meio de uma nova entrevista *Delphi*.

A Tabela 6 ilustra as sugestões de melhorias propostas pelos especialistas na primeira rodada de entrevistas do método *Delphi* e as alterações foram realizadas e apresentadas na segunda rodada de entrevistas.

Tabela 6 – Alterações realizadas com a aplicação do método *Delphi*

Sugestões dos especialistas na 1. ^a rodada de entrevistas	Alterações apresentadas na 2. ^a rodada de entrevistas
Ausência das tecnologias <i>IoT</i> no <i>Framework</i> .	Inclusão de Banco de Dados / Nuvem, <i>RFID</i> , <i>GPS</i> , Dispositivos móveis e Computador no <i>Framework</i> .
Especificação dos fluxos de informações.	Inclusão de legenda e especificação do fluxo da Cadeia de Suprimentos, das Informações por meio de <i>IoT</i> e acesso ao sistema.
Alteração de "Gerente" no <i>Framework</i> .	Gestor acessa o sistema para obter as informações da Cadeia de Suprimentos.
Alteração na ordem do fluxo da Cadeia de Suprimentos (Gerenciamento de Fornecedores e Abastecimento Estratégico).	A tarefa de Abastecimento Estratégico é realizada antes do Gerenciamento de Fornecedores.
Remoção da interseção de setas.	Melhor distribuição das tarefas no <i>Framework</i> .

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Após a apresentação das alterações realizadas no *Framework*, as opiniões dos especialistas na segunda rodada de entrevistas foram analisadas para a aprovação, ilustradas na Tabela 7.

Tabela 7 – Consenso de aprovação do *Framework*

Alterações apresentadas na 2. ^a rodada de entrevistas	Consenso de aprovação
Inclusão de Banco de Dados / Nuvem, <i>RFID</i> , <i>GPS</i> , Dispositivos móveis e Computador no <i>Framework</i> .	94,11%
Inclusão de legenda e especificação do fluxo da Cadeia de Suprimentos, das Informações por meio de <i>IoT</i> e acesso ao sistema.	94,11%
Gestor acessa o sistema para obter as informações da Cadeia de Suprimentos.	70,58%
A tarefa de Abastecimento Estratégico é realizada antes do Gerenciamento de Fornecedores.	88,23%
Melhor distribuição das tarefas no <i>Framework</i> .	82,35%

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A inclusão dos objetos tecnológicos, sugeridos pelos especialistas, foi uma das alterações apresentadas que obteve 94,11% do consenso de aprovação dos entrevistados, assim como a inclusão de legenda e especificação do fluxo da Cadeia de Suprimentos, das Informações por meio de *IoT* e acesso ao sistema. Tal mudança atendeu a necessidade de diferenciação do conceito de informação com a do conceito físico, especificando, assim, os fluxos de informações existentes.

O gestor como usuário agente de acesso ao sistema para obter as informações da Cadeia de Suprimentos foi aprovado por 12 especialistas (70,58%).

Os especialistas na primeira rodada de entrevistas pontuaram que habitualmente o abastecimento estratégico ocorre antes do gerenciamento dos fornecedores. Tal alteração alcançou 88,23% de aprovação dos entrevistados, validando, assim, o processo de obtenção da informação dos fornecedores e materiais corretos para, então, analisar-se o desempenho do fornecedor.

A alteração de melhor distribuição das tarefas alcançou 82,35% do consenso de aprovação dos entrevistados. Os 14 especialistas destacaram que, com essa mudança, o *Framework* ficou mais compreensível para o entendimento das tarefas.

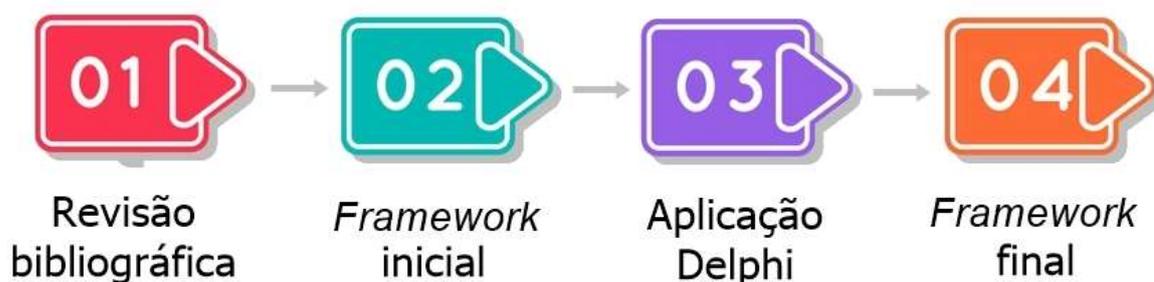
Após a análise das opiniões durante a segunda rodada de entrevistas, percebeu-se que as alterações realizadas permitiram que o consenso nas respostas dos especialistas fosse alcançado, chegando-se, assim, ao critério de parada.

4.2 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

O *Framework* final passou por diversos processos até tornar-se o *Framework* sugerido para auxiliar as empresas a adotarem a *Internet* das Coisas (*IoT*) no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS).

A Figura 34 ilustra o processo realizado nesta tese para que se atingisse o objetivo de propor tal *Framework*. Primeiro, foi realizada uma revisão bibliográfica quanto aos temas que envolveram GCS, *IoT* e *Frameworks* em GCS; *Frameworks* em *IoT*; *Frameworks* em GCS e *IoT*; *Frameworks* na Indústria 4.0 e *Frameworks* em *IoT*, GCS e Indústria 4.0.

Figura 34 – Processo para obtenção do *Framework* final



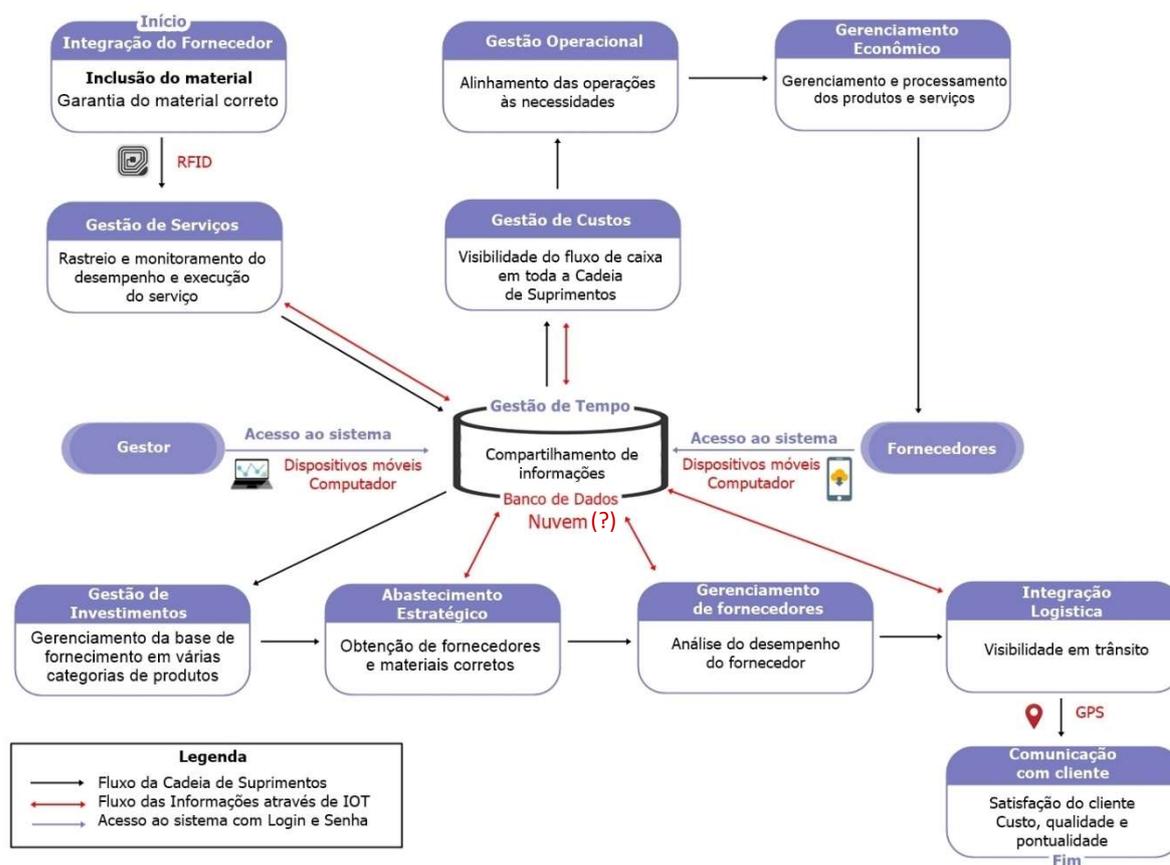
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Segundo, após a revisão bibliográfica, foi desenvolvido inicialmente um *Framework* que seria apresentado aos especialistas considerando as importâncias citadas no decorrer deste estudo.

Terceiro, foi realizado um estudo *Delphi* com o painel de especialistas que proporcionaram a aprovação do *Framework* e a otimização, avaliação e aperfeiçoamento durante as 2 rodadas de entrevistas. Todo o processo descrito resultou no *Framework* conforme segue.

A Figura 35 ilustra o *Framework* capaz de auxiliar a implantação de *Internet* das Coisas (*IoT*) no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), obtido em posse das informações e características mais significativas observadas neste estudo e validado por especialistas na aplicação do método *Delphi*.

Figura 35 – O Framework final



Fonte: Elaborada pelo Autor.

O *Framework* final (Figura 35) foi aprovado por especialistas do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos do setor de Autopeças. Tal modelo atingiu o consenso dos entrevistados que validaram a sua aplicabilidade.

A integração com o fornecedor é a primeira etapa do *Framework* validado com os especialistas. Feita a inclusão do material correto, o produto recebe a *tag RFID*, para o rastreamento em cada estágio. Em todo o processo é possível analisar os produtos por meio do leitor *RFID* e armazenar todas as informações sobre eles no banco de dados ou nuvem. Isso aumentará o processo de coleta de dados.

Essas informações podem ser compartilhadas facilmente entre fornecedores e gerentes, alcançando a transparência do sistema, pois tanto o gestor quanto o fornecedor podem obter informações do produto com base no banco de dados do sistema (ABDEL-BASSET; GUNASEKARAN; MOHAMED, 2018).

Na tarefa de gestão de serviços, é possível rastrear, detectar e armazenar o processo do desempenho e execução do serviço para a otimização da Cadeia de

Suprimentos (CS).

Um benefício de tal monitoramento é a resposta a emergências por meio do rastreamento das informações que possibilitam ao gestor agir imediatamente em tomar decisões rápidas quando o tempo é o fator crucial (YANG; YANG; PLOTNICK, 2013). Monitorar a Cadeia de Suprimentos permite melhores julgamentos de suprimentos (RADZIWON *et al.*, 2014).

O banco de dados existente na tarefa de gestão de tempo possui dados em tempo real coletados de máquinas, processos e ambientes de negócios com o auxílio de objetos *IoT*. Tais dados facilitam atividades dinâmicas de tomada de decisão apresentando ao gestor as informações a serem analisadas.

Os produtos inteligentes são capazes de se autoconectarem e comunicarem com o auxílio da *Internet* e sensor (SCHMIDT *et al.*, 2015).

Com as informações existentes no banco de dados, é possível fazer previsões automaticamente, informando às partes interessadas a necessidade de se tomarem medidas imediatas. A *IoT* permite que equipamentos e componentes possam intercomunicar-se e comunicar-se entre si e com os seres humanos pela *Internet*.

Os dispositivos de *IoT* preveem as situações inseguras nas linhas e envia o alerta aos envolvidos antes que ocorra uma situação imprevista. Isso permite que a equipe atue proativamente, pode salvar vidas e reduzir custo e tempo (QIUPING; SHUNBING; CHUNQUAN, 2011).

Robôs flexíveis e inteligentes realizam operações como montagem e empacotamento de forma independente. Atualmente, as soluções mais populares em eletrônicos de consumo para monitoramento são baseadas em dispositivos móveis e computadores (WANG *et al.*, 2017).

A tecnologia *IoT* estimula o crescimento da organização e auxilia a tomada de decisões corretas em momentos críticos, especialmente no setor de Cadeia de Suprimentos, Manufatura e Finanças (ZHONG; TAN; BHASKARAN, 2017).

A gestão de custos recebe e envia informações ao banco de dados permitindo ao gestor visualizar o fluxo de caixa em toda a Cadeia de Suprimentos.

A inteligência da *IoT* consiste na capacidade de se obterem dados em tempo real por meio de sensores, ajudando as organizações a economizarem custos e eventualmente reduzirem o desperdício (SHROUF; ORDIERES-MERÉ; MIRAGLIOTTA, 2014).

No Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, a *Internet* das Coisas ajuda as

empresas a obterem melhor eficiência operacional. A *IoT* conecta os ativos, recursos, equipamentos e ajuda a obter pontualmente a entrega dos pacotes de trabalho, melhorando o tempo de inatividade (YUE *et al.*, 2015).

As redes sem fio ajudam a acessar dados em tempo real a partir de um local remoto. A escalabilidade é crucial para reduzir o custo, considerar a possibilidade de adoção e melhorar o desempenho (LI *et al.*, 2017).

Na etapa do gerenciamento operacional, é feito um alinhamento das operações às necessidades. O alinhamento traz a capacidade de responder de forma significativa, num prazo estipulado, a mudanças na demanda ou nos requisitos do mercado.

Usando a inteligência de negócios, melhorar a eficácia da Cadeia de Suprimentos é uma oferta crítica na competitividade da organização (SAHAY; RANJAN, 2008).

O relacionamento com os parceiros da Cadeia de Suprimentos melhora a visibilidade e o tempo de resposta às mudanças nos requisitos do mercado (CAO; ZHANG, 2011).

As partes interessadas obtêm informações em tempo real sobre a condição do produto para melhorar o desempenho operacional. O sistema *IoT* no GSC aprimora a tomada de decisões no gerenciamento de inventário (CHEN, 2015).

Na etapa do gerenciamento econômico, ocorre o gerenciamento e processamento de produtos e serviços. O monitoramento remoto do equipamento permite reparos antes da quebra.

Com a *Internet* das Coisas, é possível compartilhar informações com os envolvidos para acelerar os fluxos de material com a execução do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (YUE *et al.*, 2015).

Na gestão de investimentos, é feito o gerenciamento da base de fornecimento em várias categorias de produtos, com planejamento e execução correta de percepção da demanda. Nessa tarefa, a *IoT* permite a integração dos departamentos multifuncionais, bem como a coordenação contínua da Cadeia de Suprimentos entre os parceiros, automatizando o processo sempre que necessário.

Segundo Wang *et al.* (2015), um sistema com o auxílio de *IoT* é possível alertar e identificar o risco que uma Cadeia de Suprimentos pode apresentar, fornecendo recomendações para melhorar sua qualidade. Também identifica padrão de anormalidades e realiza uma análise especializada para aumentar a sustentabilidade.

Na fase de abastecimento estratégico, são obtidos os fornecedores e os materiais corretos para atender a demanda na gestão de investimentos.

Com o advento da *IoT*, uma visibilidade em tempo real nas máquinas, componentes e *status* melhora a qualidade do produto. Similarmente, a *IoT* fornece visibilidade do *status* dos objetos físicos, o que melhora a qualidade do serviço. Em geral, a eficácia da Cadeia de Suprimentos aumenta com a ajuda da *IoT* (PAPAKOSTAS; O'CONNOR; BYRNE, 2016), oferece flexibilidade a operadores humanos e ajuda a trabalhar em ambiente dinâmico com alta capacidade (LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2017).

De acordo com as informações obtidas no banco de dados em nuvem, o gestor avaliará o produto do fornecedor na fase de gerenciamento de fornecedores e selecionará apenas os produtos de alta qualidade. O fornecedor, nesta fase, pode acessar o sistema com a inserção de nome de usuário e senha para rastrear o *status* do produto. Os *status* das mercadorias são enviados por meio de mensagens de alerta em tempo real para as partes interessadas no setor de logística.

Após avaliar os produtos dos fornecedores e selecionar o melhor, um processo de compra deve ser executado. Depois de comprar e processar produtos nas fases de abastecimento estratégico e gerenciamento de fornecedores, inicia-se a integração logística em que ocorre o processo de distribuição. Utiliza-se *Global Positioning System (GPS)* e tecnologia de sensores para rastrear a localização do veículo e garantir a segurança dos produtos a bordo.

Os dispositivos *IoT* permitem que os supervisores rastreiem a localização dos componentes a partir de uma localização remota. Ajudam a fornecer instruções ao vivo aos trabalhadores para lidarem com equipamentos especiais e materiais sensíveis. Os dispositivos vestíveis aumentam a produtividade e aceleram o envio. Além disso, trazem a visibilidade precisa da disponibilidade de estoques no armazém e informam o gestor do armazém automaticamente (REARDY; GUNASEKARAN; ALAIN, 2014).

Os produtos inteligentes estão interconectados com os dispositivos *IoT*. As organizações de logística rastreiam os objetos físicos em tempo real e garantem que os parceiros da CS sejam informados automaticamente sobre a disponibilidade de mercadorias (ZHANG; HUANG; JO, 2015). Prevê-se um enorme impacto financeiro

dos custos de transporte nas organizações (SPERANZA, 2018).

Na tarefa de comunicação com o cliente, a *IoT* ajuda a fornecer o produto de maneira oportuna e eficiente aos clientes. Além disso, a *IoT* aumenta a flexibilidade e traz um relacionamento saudável entre fornecedores de logística, resultando em entregas pontuais de produtos, o que eventualmente satisfaz os clientes (YU *et al.*, 2015).

Com a análise dos resultados obtidos, o objetivo central desta tese em desenvolver e apresentar um *Framework* que auxile no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos foi atingido, pois o *Framework* proposto foi validado e pode ser usado como guia na utilização de *IoT* no GCS. A aplicação do método *Delphi* mostrou que os especialistas, após algumas adequações sugeridas por eles, consideram o *Framework* factível, confiável e seguro, proporcionando rapidez na tomada de decisão, transparência nos processos, minimização de custos e, em consequência, melhor gestão de recursos no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.

5 CONCLUSÃO

Na presente tese buscou-se demonstrar a importância da adoção de *Internet das Coisas (IoT)*, como ferramenta de conexão autônoma no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) na Indústria de Autopeças. Para tal, com base na pesquisa bibliográfica realizada, foi desenvolvido e apresentado um *Framework* que não apenas auxilia a implantação da *IoT* nesse meio, como também aponta uma visão geral de como essa Cadeia se tornará.

A revisão bibliográfica como parte desta tese mostrou que a *Internet das Coisas* é uma tecnologia inevitável para a Indústria 4.0 e torna-se necessário adotá-la no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.

Utilizando-se o método *Delphi*, 17 especialistas foram consultados e apresentado o *Framework* advindo da pesquisa bibliográfica. Após duas rodadas, o *Framework* inicial apresentado chegou a sua forma final, tendo os especialistas entrevistados relatado que a ferramenta auxilia na tomada de decisões, no controle de processos e na comunicação entre partes interessadas.

As pesquisas existentes a respeito dos assuntos abordados no desenvolvimento desta tese demonstram a ausência de *Frameworks* que permitam ao gestor da Cadeia de Suprimentos tomar decisões e controlar seus processos com o auxílio de tecnologias *IoT*, a fim de conectar as partes envolvidas de forma autônoma e trazer transparência aos processos gerenciados.

O desenvolvimento de um *Framework* que demonstre como o GCS se transforma, com a utilização dos objetos *IoT* na Indústria de Autopeças, contribui sobremaneira para a prática.

O *Framework* inicial apresentado foi o resultado de extensa revisão bibliográfica baseada em todas as ferramentas utilizadas na Indústria 4.0. Essas ferramentas foram analisadas e, após a verificação da sua relação com o GCS, adicionadas ao *Framework* proposto.

Durante a primeira rodada de entrevistas, as sugestões e opiniões dos especialistas foram coletadas e analisadas para o reconhecimento e observação dos resultados.

Os resultados da primeira fase foram sugestões de mudanças para: ausência de tecnologias *IoT* no *Framework* com 82,35% de concordância; especificação dos

fluxos de informações com 88,23%; alteração de gerente no *Framework* com 58,82%; alteração da ordem do fluxo da cadeia de suprimentos nas tarefas de gerenciamento de fornecedores e abastecimento estratégico com 64,70% e remoção da interseção das setas com 70,58% de consenso nas sugestões.

Em posse dos resultados obtidos na primeira rodada, um novo *Framework* foi desenvolvido incluindo as sugestões de mudanças e opiniões dos especialistas mais pertinentes.

O *Framework* apresentado na segunda rodada de entrevistas teve como alterações: inclusão de banco de dados/nuvem, *RFID*, *GPS*, dispositivos móveis e computador nas tarefas do *Framework*; inclusão de legenda e especificação do fluxo da Cadeia de Suprimentos, fluxo de informações e fluxo de acesso ao sistema; o gestor deve ser o tomador de decisões e o principal agente de acesso às informações da Cadeia de Suprimentos; inversão da ordem de tarefas na Cadeia de Suprimentos e, assim, é realizada a tarefa de abastecimento estratégico para então executar-se a tarefa de gerenciamento de fornecedores; por fim, distribuição das tarefas no *Framework* sem a interseção de fluxos.

Após a submissão do *Framework* aos especialistas nas rodadas de aplicação da ferramenta *Delphi*, a solução foi validada, aperfeiçoada, refinada e aprovada pelo painel. Obteve-se, assim, o *Framework* final, proposto neste trabalho.

O *Framework* possui onze tarefas: integração do fornecedor, gestão de serviços, gestão de tempo, gestão de custos, gestão operacional, gerenciamento econômico, gestão de investimentos, abastecimento estratégico, gerenciamento de fornecedores, integração logística e comunicação com o cliente.

A solução proposta por meio do *Framework* demonstra como os dados são coletados nas tarefas da Cadeia de Suprimentos e como tais informações são processadas e exibidas ao gestor que, com base nelas, tomará decisões.

O *Framework* possui como principal tarefa a gestão do tempo, composta pelo banco de dados/nuvem conectado com toda a Cadeia de Suprimentos (CS), como o fornecedor, a transportadora, o cliente e o usuário. O banco de dados possui a capacidade de selecionar os dados importantes para o gestor de tomada de decisão.

Tal proposta permite ao gestor da Cadeia de Suprimentos controlar os processos desempenhados em tempo real de qualquer dispositivo com acesso à *Internet*.

Após verificadas as constatações fornecidas pelos especialistas, pôde-se considerar de forma prática que o *Framework* proposto pode auxiliar as indústrias de Autopeças melhorando o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, pois essa passa a ter suas tarefas alinhadas aos dados referentes a elas transmitidos de forma autônoma advindos de objetos diversos, tarefa impossível antes da chegada da *Internet* das Coisas. Demonstra-se, assim, que a *IoT* é ferramenta apropriada no auxílio à GCS, além de agente modificador dessa, fato reconhecido pelos especialistas/gestores entrevistados.

Esta tese trouxe contribuições à Teoria e à Prática da Engenharia de Produção. Para a prática acerca do tema, o *Framework* proposto fornece às indústrias de Autopeças uma compreensão de como a tecnologia da *Internet* das Coisas pode-se alinhar à Cadeia de Suprimentos e como podem ser implementadas diante da disseminação da Indústria 4.0.

Para a literatura, este trabalho trouxe uma solução inovadora ao propor uma abordagem conceitual por meio de um *Framework* que permite apresentar o fluxo de dados por todos os processos da Cadeia de Suprimentos a fim de auxiliar os gestores da indústria de Autopeças a realizarem o gerenciamento por meio de tecnologias *IoT*.

Dentre os trabalhos futuros podem-se destacar, como oportunidades de pesquisa, aqueles que visem a: utilizar o *Framework* para a aplicação de estudo de caso, aprofundar o entendimento de cada tarefa existente nesse e aplicar o instrumento qualitativo *Delphi* em demais Cadeias de Suprimentos.

6 REFERÊNCIAS

ABDEL-BASSET, M.; GUNASEKARAN, M.; MOHAMED, M. Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. **Future Generation Computer Systems**, v. 86, p. 614-628, Sep. 2018.

AHI, P.; JABER, M. Y.; SEARCY, C. A comprehensive multidimensional framework for assessing the performance of sustainable supply chains. **Applied Mathematical Modelling**, Toronto, v. 40, p. 10153-10166, Dec. 2016.

AKKERMANS, H. ; BOGERD, P.; YUCESAN, E. ; VAN WASSENHOUE, L.. The impact of ERP on supply chain management: Exploratory findings from a European Delphi study. **European Journal of Operational Research**, v. 146, p. 284-301, Apr. 2003.

AKYILDIZ, I. F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. Wireless sensor networks: a survey. **Computer Networks**, v. 38, p. 393–422, Mar. 2002.

ALESSANDRI, M.; BETTIS, A. Surviving the Bulls and the Bears: Robust Strategies and Shareholder Wealth. **Long Range Planning**, v. 36, n. 1, p. 13-35, Jan. 2003.

ANDERSEN, Mikael Skou. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustain. Sci**, v. 2, n. 1, p. 133–140, 2007.

ANDERSON, M. G.; KATZ, P. B. Strategic sourcing. **The International Journal of Management**, v. 9, n. 1, p. 1-13, Jan. 1998.

ANDERSON-PARENTE, J.; PARENTE, R. A case study of long-term Delphi accuracy. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, p. 1705-1711, Nov. 2011.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo, p. 148. 2018.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. [S.l.], p. 150. 2019.

ANGELES, R. Rfid Technologies: Supply-Chain Applications and Implementation Issues. **Information Systems Management**, USA/Canada, p. 51-65, 2005.

ANTONIOLLI, P. D. Information Technology Framework for Pharmaceutical Supply Chain Demand Management: a Brazilian Case Study. **Brazilian Business Review**, v. 13, n. 2, p. 27-55, Apr. 2016.

- ATASEVEN, C.; NAIR, A. Assessment of supply chain integration and performance relationships: A meta-analytic investigation of the literature. **International Journal of Production Economics**, v. 185, p. 252-265, Mar. 2017.
- BAHRIN, M.; OTHMAN, M.; AZLI, N.; TALIB, M. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, Jun. 2016.
- BAKER, M.; APON, A. **MIDDLEWARE**. [S.l.]: The International Journal of High Performance Computing Applications, v. 15, 2001. p. 136-142.
- BALLOU, R.; GILBERT, S.; MUKHERJEE, A. New Managerial Challenges from Supply Chain Opportunities. **Industrial Marketing Management**, v. 29, p. 7-18, Jan. 2000.
- BALSMEIER, P.; VOISIN, W. Supply chain management: A time-based strategy. **Industrial**, Chicago, v. 38, p. 24-27, 1996.
- BANCHUEN, P.; SADLER, I.; SHEE, H. Supply chain collaboration aligns order-winning strategy with business outcomes. **IIMB Management Review**, v. 29, n. 2, p. 109-121, Jun. 2017.
- BARDAKI, C.; KOUROUTHANASSIS, P.; PRAMATARI, K. Deploying RFID-Enabled Services in the Retail Supply Chain: Lessons Learned toward the Internet of Things. **Information Systems Management**, Grécia, p. 233–245, Jun. 2012.
- BATEMAN, T. S. **Administração - Construindo vantagem competitiva**. [S.l.]: Atlas Ed., 1998.
- BEN DAYA, M.; HASSINI, E.; BAHROUN, Z. Internet of things and supply chain management: a literature review. **International Journal of Production Research**, 2017.
- BENDAÑA, R.; DEL CAÑO, A.; DE LA CRUZ, M. P. Contractor selection: fuzzy-control approach. **Canadian Science Publishing**, v. 35, p. 473–486, Jun. 2008.
- BLAIR, G.; COULSON, G.; ANDERSEN, A.; BLAIR, L.; CLARKE, M.; COSTA, F.; DURAN-LIMON, H.; FITZPATRICK, T.; JOHNSTON, L.; MOREIRA, R.; PARLAVANTZAS, N.; SAIKOSKI, K.. **The Design and Implementation of Open ORB 2**. Reino Unido: IEEE Computer Society, v. 2, 2001.
- BLIND, K.; CUHLS, K. Personal attitudes in the assessment of the future of science and technology: A factor analysis approach. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 68, p. 131-149, Oct. 2001.

BLOME, C.; SCHOENHERR, T. ; REXHAUSEN, D. Antecedents and Enablers of Supply Chain Agility and its Effect on Performance: A Dynamic Capabilities Perspective Capabilities Perspective. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 4, p. 1295-1318, Feb. 2013.

BOENZI, F.; DIGIESI, S. ; FACCHINI, F. ; MOSSA, G. ; MUMMOLO, G.. A Nonlinear Integer Programming Model for Warehousing Sustainable Logistics. **Engineering Systems and Networks**, p. 99-107, Dec. 2016.

BRAUNSCHEIDEL, M. J.; SURESH, N. C. The organizational antecedents of a firm's supply chain agility for risk mitigation and response. **Journal of operations Management**, v. 27, n. 2, p. 119-140, Apr. 2009.

BURKITT, F. A Strategist's Guide to the Internet of Things. **Strategy+business**, Nova Iorque, n.77, p. 2-12, 2014.

BURTA, F. S. Supply Chain Management and Performance: Framework for Strategic Decision Making. **Economic Sciences**, v.1, n.1, p. 430-438, Jul. 2018.

BUSSE, C. ; SCHLEPER, M. C. ; WEILENMANN, J. ; WAGNER, S. M.. Extending the supply chain visibility boundary. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 47, n. 1, p. 18-40, Feb. 2017.

BUTLER, B. Network World, October 06th , 2016. Disponível em: <<https://www.networkworld.com/article/3128846/atandt-hitches-its-internet-of-things-network-to-amazon-s-cloud.html>>. Acesso em: 08 Mar. 2019.

BÜYÜKÖZKAN, G.; GÜLERYÜZ, S. Multi Criteria Group Decision Making Approach for Smart Phone Selection Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, Istanbul, Turkey, v. 9, n. 4, p. 709-725, 2016.

CANZANIELLO, A; HARTMANN, E; FIFKA, M. S Intra-industry strategic alliances for managing sustainability-related supplier risks: Motivation and outcome **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 47, n. 5, p. 387-409, Jun. 201.

CARAYANNIS, E.; SAGI, J. "New" vs. "old" economy: Insights on competitiveness in the global IT industry. **Technovation**, v. 21, n. 8, p. 501-514, Aug. 2001.

CELASCHI, F. Advanced design-driven approaches for an Industry 4.0 framework: The human-centred dimension of the digital industrial revolution. **Strategic Design Research Journal**, Italia, v.10, n.2, p. 97-104, Apr. 2017.

CHEN, I. J.; PAULRAJ, A. Towards a theory of supply chain management: The constructs and measurements. **Journal of Operations Management**, v. 22, n. 2, p. 119–150, Apr. 2004.

CHEN, L.; ZHAO, X.; TANG, O.; PRICE, L.; ZHANG, S.; ZHU, W. Supply chain collaboration for sustainability: A literature review and future research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 194, p. 73-87, Dec. 2017.

CHEN, R.-Y. Intelligent IoT-Enabled System in Green Supply Chain using Integrated FCM Method. **International Journal of Business Analytics**, Taiwan, v. 2, n. 3, p. 47-66, Sep. 2015.

CHOI, S. C. A Tutorial for Energy efficient Communication for XMPP-based Internet of Things. **Smart Computing Review**, Korea, v. 3, 2013.

CHRISTOPHER, M; HOLWEG, M. Supply chain 2.0 revisited: a framework for managing volatility-induced risk in the supply chain. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 47, n. 1, p. 2-17, Feb. 2017.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**. 5. ed. [S.l.]: [s.n.], 2016.

CLARKSON, M. E.. A Stakeholder Framework For Analyzing And Evaluating Corporate Social Performance. **Academy of Management Review**, v. 20, n. 1, Jan. 1995.

COOPER, M. C.; LAMBERT, D. M.; PAGH, J. D. Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics. **The International Journal of Logistics Management**, v. 8, n. 1, p. 99-117, Jan. 1997.

CORBETT, C. J.; KLEINDORFER, P. R. Environmental management and operations management: Introduction to the third special issue. **Production and Operations**, v. 12, n. 3, p. 287-289, Sep. 2003.

CRAIK, F. I. M.; LOCKHAR, R.S. Levels of Processing: A Framework for Memory Research. **Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior**, v. 11, n. p. 671-684, Dec. 1972.

CROOM, S.; ROMANO, P.; GIANNAKIS, M. Supply Chain Management: An Analytical Framework for Critical Literature Review. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 6, n. 1, p. 67-83, Mar. 2000.

CZAPLICKA-KOLARZ, K.; STANCZYK, K.; KAPUSTA, K. Technology foresight for a vision of energy sector development in Poland till 2030. Delphi survey as an element of technology foresighting. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 76, n. 3, p. 327-338, Mar. 2009.

CZINKOTA, M. R.; RONKAINEN, I. A. International Business and Trade in the Next Decade: Report from a Delphi Study. **Journal of International Business Studies**, v. 28, p. 827-844, Dec. 1997.

D'AMICO, F.; MOGRE, R.; CLARKE, S.; LINDGREEN, A.; HINGLEY, M. How purchasing and supply management practices affect key success factors: the case of the offshore-wind supply chain. **Journal of Business & Industrial Marketing**, v. 32, n. 2, p. 218-226, Mar. 2017.

DALKEY, N.; HELMER, O. **An experimental application of the Delphi method to the use of experts**. [S.l.]: Management Science, 1963.p. 458-467.

DANIEL, E. M; WHITE, A. The future of inter-organisational system. **European Journal of Information Systems**, v. 14, n. 2, p. 188-203, Jun. 2005.

DEDRICK, J.; KRAEMER, K.; PLACIOS, J.; TIGRE, P.; BOTELHO, A. Economic Liberalization and the Computer Industry: Comparing Outcomes in Brazil and Mexico. **World Development**, v. 29, n. 7, p. 1199-1214, jul 2001.

DHUMALE, R. B.; THOMBARE, N. D.; BANGARE, P. M. Supply Chain Management using Internet of Things. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 4, n. 6, p. 787-791, Jun. 2017.

DUTTA, K.; VANDERMEER, D. Cost-based decision-making in middleware virtualization environments. **European Journal of Operational Research**, Miami, USA, v. 210, n. 2, p. 344-357, Apr. 2011.

ECKEN, P.; PIBERNIK, R. Hit or Miss: What Leads Experts to Take Advice for Long-Term Judgments? **Management Science**, v. 62, n. 7, p. 1843-2147, Aug. 2015.

ELLINGER, A. E. Improving Marketing/Logistics Cross-Functional Collaboration in the Supply Chain. **Industrial Marketing Management**, v. 29, n. 1, p. 85-96, Jan. 2000.

ELLRAM, L. The Industrial Organisation Perspective. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 21, p. 13-22, Jan. 1991. ISSN 1.

ELLRAM, L. M.; COOPER, M. C. Supply Chain Management, Partnerships, and the Shipper-Third Party Relationship. **International Journal of Logistics Management**, v. 1, n.2, p. 1-10, Jun. 1990. ISSN 2.

ESFAHBODI, A.; ZHANG, Y.; WATSON, G. Sustainable supply chain management in emerging economies: Trade-offs between environmental and cost performance. **Internal Journal of Production Economics**, v. 181, p. 350-366, Nov. 2016.

FAHIMNIA, B.; SARKIS, J.; GUNASEKARAN, A.; FARAHANI, R. Decision models for sustainable supply chain design and management. **Annals of Operations Research**, v. 250, n. 2, p. 277-278, Mar. 2017.

FARKAVCOVA, V. G. ; RIECKHOF, R.; GUENTHER, E. Expanding knowledge on environmental impacts of transport processes for more sustainable supply chain decisions: A case study using life cycle assessment. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 61, p. 68-83, Jun. 2018.

FAYAD, W. E.; SCHMIDT, D. C.; JOHNSON, R. E. **Building Application Framework: Object-Oriented Foundations of Framework Design**. 1. ed. [S.l.]: Wiley, 1999.

FELEA, M.; ALBASTROIU, I. Defining the concept of SCM and its relevance to romanian academics and practitioners. **Amfiteatru Economic**, v. 15, n. 33, p. 74-88, Jan. 2013.

FIORINI, P. D. C.; JABBOUR, C. J. C. Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 4, p. 241-249, Aug. 2017.

GAMMA, E.; HELM, R; JOHNSON, R; VLISSIDES, J. **Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Design**. Boston, Massachusetts, EUA: Addison-Wesley, 1995.

GENOVESE, A. ACQUAYE, A. A.; FIGUEROA, A.; KOH, S.C. L. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega**, v. 66, p. 344-357, Jan. 2017.

GERSHENFELD, N.; KRIKORIAN, R.; COHEN, D. The Internet of Things. **Scientific American**, USA, v. 291, p. 76-81, Oct. 2004.

GHIMIRE, S.; LUIS-FERREIRA, F.; NODEHI, T.; JARDIM-GONCALVES, R. IoT based situational awareness framework for real-time project management. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 30, n. 1, p. 74-83, Jan. 2016.

GOKHALE, A.; BALASUBRAMANIAN, K.; KRISHNA, A. S.; BALASUBRAMANIAN, J.; EDWARDS, G.; DENG, G.; TURKAY, E.; PARSONS, J.; SCHMIDT, D. C.. Model driven middleware: A new paradigm for developing distributed real-time and embedded systems. **Science of Computer Programming**, Nashville, USA, v. 73, n. 1, p. 39-58, Sep. 2008.

GONG, C.; LIU, J.; ZHANG, Q.; CHEN, H.; GONG, Z. The Characteristics of Cloud Computing. **International Conference on Parallel Processing Workshops**, Changsha, p. 275-279, Sep. 2010.

GRAHAM, G.; HARDAKER, G. Supply-chain management across the Internet. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 30, n. (3-4), p. 286 - 295, Apr. 2000.

GUBBI, J.; MARUSIC, S.; BUYYA, R.; PALANISWAMI, M.. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, Austrália, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, Sep. 2013.

GUILLEMIN, P.; FRIESS, P. **Internet of Things – Strategic Research Roadmap**. [S.l.]: [s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

GUNASEKARAN, A.; NGAI, E.W.T.. Build-to-order supply chain management: a literature review and framework for development. **Journal of Operations Management**, v. 23, n. 5, p. 423–451, Jul. 2005.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; TIRTIROGLU, E. Performance measures and metrics in a supply chain environment. **A. Gunasekaran, C. Patel, E. Tirtiroglu**, v. 21, n 1-2, Jan. 2001.

GUPTA, A. Enterprise Resource Planning: The Emerging Organizational Value Systems. **Industrial Management & Data Systems**, USA, v.100, n. 3, p. 114-118, Apr. 2000.

HALL, D. J.; SKIPPER, J. ; HAZEN, B. ; HANNA, J. B.. Inter-organizational IT Use, Cooperative Attitude, and Inter-organizational Collaboration as Antecedents to Contingency Planning Effectiveness. **The International Journal of Logistics Management**, v. 23, n. 1, p. 50-76, May 2012.

HANDFIELD, R. B.; NICHOLS, E. L. **Introduction to Supply Chain Management**. 2^o. ed. [S.l.]: Upper Saddle River: Prentice Hall , 2003.

HASSON, F.; KEENEY, S. Enhancing rigour in the Delphi technique research. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 9, p. 1695-1704, Nov. 2011.

HAZEN, B. T.; BYRD, T. A. Toward creating competitive advantage with logistics information technology. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 42, n. 1, p. 8-35, Jan. 2012.

HE, Y. Supply risk sharing in a closed-loop supply chain. **International Journal of Production Economics**, n. 183, p. 39-52, Jan. 2017.

HELMER, O. **The use of the Delphi Technique in Problems od Educacional Innovations**. Dec.: Basic Books Social Technology, 1966.

HELMER, O.; RESCHER, N. On the Epistemology of the Inexact Sciences. **Management Science**, v. 6, n. 1, Oct. 1959.

HOULIHAN, J. B. International Supply Chain Management. **International Journal of Physical Distribution & Materials**, v. 15, n. 1, p. 22-38, Jan. 1985.

HUGOS, H. **Essentials of Supply Chain Management**. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

IBGE. **Pesquisa Anual de Comércio 2015**. Rio de Janeiro, p. 27. 2017.

JABBOUR, A. B.L.S; JABBOUR, C. J. C.; FOROPON, C.; FILHO, M. G. When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 18-25, Feb. 2018.

JANAK, L.; HADAS, Z. Machine tool health and usage monitoring system: An initial analyses. **MM Science Journal 2**, Czech Republic, p. 794-798, Dec. 2015.

JAYARAM, J.; XU, K.; NICOLAE, M. The direct and contingency effects of supplier coordination and customer coordination on quality and flexibility performance. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 1, p. 59-85, 2011.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, India/USA, v. 117, p. 408 - 425, Jul. 2018.

KATHAWALA, Y. ; ABDU, K. Supply chain evaluation in the service industry: A framework development compared to manufacturing. **Managerial Auditing Journal**, v. 18, n. 2, p. 140-149, Mar. 2003.

KEENEY, S.; HASSON., F.; MCKENNA, H. Consulting the oracle: ten lessons from using the Delphi technique in nursing research. **Journal of Advanced Nursing**, v. 53, n. 2, p. 205-212, Feb. 2006.

KELEPOURIS, T.; MILIOTIS, P.; PRAMATARI, K. The impact of replenishment parameters and information sharing on the bullwhip effect: A computational study. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 11, p. 3657-3670, Nov. 2008.

KERAMYDAS, C.; MALLIDS, I.; DEKKER, R. ; VLACHOS, D. Cost and environmental trade-offs in supply chain network design and planning: The merit of a simulation-based approach. **Journal of Simulation**, v. 11, n. 1, p. 20-29, 2017.

KIM, S. Y.; LIM, C. H.; CHO, C. H. Performance Analysis of a Dense Device to Device Network. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, Korea, v. 8, n. 9, p. 2967-2981, Sep. 2014.

KITSON, A. L.; MALONE, J. R.; HARVEY, G.; MCCORNACK, B.; SEERS, K.; TITCHEN, A. Evaluating the successful implementation of evidence into practice using the PARiHS framework: theoretical and practical challenges. **Implementation Science**, v. 3, n. 1, Feb. 2008.

KLEFSTAD, R.; SCHMIDT, D. C.; O'RYAN, C. Towards Highly Configurable Real-time Object Request Brokers. **Electrical and Computer Engineering Dept.**, USA, Feb. 2002.

KLEINDORFER, P. R.; SINGHAL, K.; VAN WASSENHOVE, L. N. Sustainable operations management. **Production and operations management**, v. 14, n. 4, p. 482-492, 2005.

KOCABASOGLU, C.; PRAHINSKI, C.; KLASSEN, R. D. Linking forward and reverse supply chain investments: The role of business uncertainty. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 6, p. 1141-1160, Nov. 2007.

KOK, G. Cloud Computing & Confidentiality. **University of Twente**, May 2010.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: Design and manufacturing**. [S.l.]: Taylor & Francis, 2004.

KU, A. Y. Anticipating critical materials implications from the Internet of Things (IOT): Potential stress on future supply chains from emerging data storage technologies. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 15, p. 27-32, 2017.

KUO, T. C. ; HSIAO, Y. ; CHEN, G.Y.; DANG, H.T.H. Investigating the Influential Factors of Sustainable Supply Chain Management, Using Two Asian Countries as Examples: Analysis of the Influential Factors of SSCM in Taiwan and Vietnam. **Sustainable Development**, v. 25, n. 6, p. 559-579, Feb. 2017.

LA LONDE, B. J.; MASTERS, J. M. Emerging Logistics Strategies: Blueprints for the Next Century. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 24, n. 7, p. 35-47, Sep. 1994.

LAMBERT, D. Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance, Chapter 1 Supply Chain Management. **Supply Chain Management Institute**, Florida, n. 4, p. 87-104, 2008.

LAMBERT, D. Developing a Customer-focused Logistics Strategy. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 22, n. 6, p. 12-19, Jun. 1992.

LAMBERT, D.; COOPER, M.; PAGH, J. Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 1, p. 1-20, Jul. 1998.

LANDETA, J. Current validity of the Delphi method in social sciences. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 73, n. 5, p. 467-482, Jun. 2006.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. **Management Science**, v. 50, n. 12, Dec. 2004.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431-440, Aug. 2015.

LEWIS, T. G. **Object-Oriented Application Frameworks, Manning publications**. USA: Manning Publications Co. Greenwich, CT, USA ©1995, 1995.

LI, Z.; LIU, G. ; LIU, L. ; LAI, X. ; XU, G. IoT-based tracking and tracing platform for prepackaged food supply chain. **Industrial Management & Data Systems**, China, v. 117, n. 9, p. 1909-1916, Oct. 2017.

LI, Y.; WU, F.; ZONG, W.; LI, B. Supply chain collaboration for ERP implementation: An inter-organizational knowledge-sharing perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 37, n. 10, p. 1327-1347, Oct. 2017.

LIAO, Y. ; DESCHAMPS, F.; LOURES, E.; RAMOS, L. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 1, p. 3609-3629, Mar. 2017.

LIM, K.; TSENG, M.; TAN, K.; BUI, T. Knowledge management in sustainable supply chain management: Improving performance through an interpretive structural modelling approach. **Journal of cleaner production**, v. 162, p. 806-816, Sep. 2017.

LIM, S. H.; KOH, C. E. RFID implementation strategy: perceived risks and organizational fits. **Industrial Management & Data Systems**, v. 109, n. 8, p. 1017 - 1036, Sep. 2009.

LIN, C.; LIN, Y.-T. Mitigating the bullwhip effect by reducing demand variance in the supply chain. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 28, n. 3-4, p. 328–336, Mar. 2006.

LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. Delphi: A brief look backward and forward. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 9, p. 1712-1719, Nov. 2011.

LIU, X.; SUN, Y. Information Flow Management of Vendor - Managed Inventory System in Automobile Parts Inbound Logistics Based on Internet of Things. **Journal Of Software**, China, v. 6, p. 1374-1380, Jul. 2011.

LIU, Y.; XU, X. Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Jun. 2016.

LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. **Computers & Industrial Engineering**, Itália, v. 113, p. 144-159, 2017.

LOU, P.; LIU, Q.; ZHOU, Z.; WANG, H.. Agile Supply Chain Management over the Internet of Things. **International Conference on Management and Service Science**, Aug. 2011.

LOUREIRO, A.; NOGUEIRA, M.; RUIZ, L.; FREITAS MINI, R.; NAKAMURA, E.; FIGUEIREDO, C. Redes de Sensores Sem Fio. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**, 2003.

LUCKO, G.; ROJAS, E. M. Research Validation: Challenges and Opportunities in the Construction Domain. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 1, p. 127-135, Jan. 2009.

LUND, D.; MACGILLIVRAY, C.; TURNER, C.; MORALES, C.. Worldwide and Regional Internet of Things (IoT) 2014–2020 Forecast: A Virtuous Circle of Proven Value and Demand. **IDC Analyze the Future**, USA, p. 1-27, 2014.

LUTHRA, S.; MANGLA KUMAR, S. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies, 2017. 40.

MACAULAY, J.; BUCKALEW, L.; CHUNG, G. **Internet of Things in Logistics - A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry**. Troisdorf: DHL Trend Research, 2015. Disponível em: <<https://discover.dhl.com/content/dam/dhl/downloads/interim/full/dhl-trend-report-internet-of-things.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

MADUREIRA, A.; PEREIRA, I. **Self-Optimizing through CBR Learning**. [S.l.]: [s.n.], 2010.

MADUREIRA, A.; SANTOS, J.; PEREIRA, I. **Self-Managing Agents for Dynamic Scheduling in Manufacturing**. Portugal: GECCO'08, Jul. 12–16, 2008, Atlanta, Georgia, USA. , 2008.

MAJA, T.; ČOSIC, P. Industry 4.0 readiness factor calculation - problem structuring, 2017. Disponível em: <<http://repositorij.fsb.hr/8224/>>. Acesso em: 12 dez. 2018

MAKAROV, O.; LANGMANN, R.; NESTERENKO, S.; FRANK, B.. Problems of the Time Deterministic in Applications for Process Control from the Cloud. **International Journal of Online Engineering**, v. 10, n. 1, p. 70-73, 2014.

MANAVALAN, E.; JAYAKRISHNA, K. A review of Internet of Things (IoT) embedded Sustainable Supply Chain for Industry 4.0 requirements. **Computers & Industrial Engineering**, v. 127, p. 925-953, Nov. 2018.

MARTINO, J. P. **Technological forecasting for decision making**. 3. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Engineering and Technology Management Series, 1993.

MARZBAND, M.; PARHIZI, N.; SAVAGHEBI, M.; IEEE; GUERRERO, J... Distributed Smart Decision-Making for a Multimicrogrid System Based on a Hierarchical Interactive Architecture, 2015. 12.

MATTSSON, M. **Object-oriented Frameworks - A survey of methodological issues**. Lund, Sweden: Department of Computer Science, 1996.

MELNYK, S., LUMMUS, R. ; VOKURKA, R. ; BURNS, L. ; Sandor, Joe. Mapping the future of supply chain management: a Delphi study. **International Journal of Production Research**, USA, v. 47, n. 16, p. 4629-4653, Jun. 2009.

MENASCÉ, D. A.; KRISHNAMOORTHY, M.; BRODSKY, A. Autonomic smart manufacturing. **Journal of Decision Systems**, New York, v. 24, n. 2, p. 206-224, Jun. 2015.

MENTZER, J.; DEWITT, W.; KEEBLER, J.; MIN, S.; NIX, Nancy; SMITH, Carlo. Defining Supply Chain Management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

MEOLA, A. How IoT Logistics will revolutionize supply chain management. **Business Insider**, 2016. Disponível em: <<http://www.businessinsider.com/internet-of-things-logistics-supply-chain-management-2016-10>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

MESSINA, G.; MORICI, L.; CELENTANO, G.; MARCHETTI, M.; DELLA CORTE, A.. REBCO. Coils System for Axial Flux Electrical Machines Application: Manufacturing and Testing. **IEEE Transactions on Applied Superconductivity**, v. 26, 2016.

MIRZAEI, N. Cloud Computing, 2008. Disponível em: <<http://grids.ucs.indiana.edu/ptliupages/publications/ReportNarimanMirzaeiJan09.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

MISHRA, P.; MATTHEW, K. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. **Teachers College Record**, Colombia, v. 108, n. 6, p. 1017-1054, Jun. 2006.

NOGUEIRA, R.; ALCANTARA, R. L. Modelos para gestão de riscos em cadeias de suprimentos: revisão, análise e diretrizes para futuras pesquisas. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 695-712, 2013.

OGDEN, J.; PETERSEN, K. ; CARTER, J. ; MONCKA, R. Supply Management Strategies for the Future: A Delphi Study. **The Journal of Supply Chain Management**, v. 41, n. 3, p. 29-48, Aug. 2005.

OKOLI, C.; PAWLOWSKI, S. D. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. **Information & Management**, v. 42, n. 1, p. 15-29, Mar. 2004.

OLIVEIRA, M. F. D. **METODOLOGIA CIENTÍFICA**: um manual para a realização de pesquisas em administração. Catalão: [s.n.], 2011.

PAPAKOSTAS, M.; O'CONNOR, J.O.; BYRNE, G. *et alii*. Internet of Things Technologies in Manufacturing: Application Areas, Challenges and Outlook. **International Conference on Information Society**, p. 126-131, Oct. 2016.

PAPAKOSTAS, N.; O'CONNOR, J. O.; BYRNE, G. On the configuration and planning of dynamic manufacturing networks. **Logistics Research**, v. 5, n. (3-4), p. 105-111, Sep. 2012.

PEI, F.; TONG, Y.; HE, F.; LI, D.. Research on design of the smart factory for forging enterprise in the industry 4.0 environment. **Mechanika**, v. 23, n. 1, Mar. 2017.

PÉREZ, H.; GUTIÉRREZ, J. J. A Survey on Standards for Real-Time Distribution Middleware. **ACM Computing Surveys**, Espanha, v. 46, n. 4, p. 1-39, Mar. 2014.

PIECYK, M. I.; MCKINNON,. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020. **Production Economics**, Reino Unido, v. 128, n. 1, p. 31-42, 2010.

PINTO, S. C. C. S. **Composição em WebFrameworks**. Rio de Janeiro: Departamento de Informática, 2000.

PISHDAR, M.; GHASEMZADEH, F.; ANTUCHEVICIENE, J.; SAPARAUSKAS, J. Internet of things and its challenges in supply chain management: A rough strength-relation analysis method. **Ekonomie a Management**, v. 21, n. 2, p. 208-222, Jun. 2018.

POPPER, R. K. **The Myth of the Framework**: In Defence of Science and Rationality. Londres: Routledge, 1996.

PRAJOGO, D.; CHOWDHURY, M.; YEUNG, A. C. L. The relationship between supplier management and firm's operational performance: A multi-dimensional perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 136, n. 1, p. 123-130, Mar. 2012.

PROCTER, S.; HUNT, M. Using the Delphi survey technique to develop a professional definition of nursing for analysing nursing workload. **Journal of Advanced Nursing**, v. 19, n. 5, p. 1003-1014, 1994.

PRUSTY, S. K.; MUKHERJEE, C. K.; MOHAPATRA, P. GOS tree (Goal–Objective–Strategy tree) approach to strategic planning using a fuzzy-Delphi process: An application to the Indian Shrimp Industry. **Technological Forecasting & Social Change**, India, v. 77, n. 3, p. 442-456, 2010.

QAISER, F.; AHMEND, K.; SYKORA, M.; CHOUDHARY, A.; SIMPSON, M. Decision support systems for sustainable logistics: a review and bibliometric analysis. **Industrial Management & Data Systems**, v. 117, n. 7, p. 1376-1388, Aug. 2017.

QIU, X.; LUO, H.; XU, G.; HUANG, G. Physical assets and service sharing for IoT-enabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP). **International Journal of Production Economics**, Hong Kong, v. 159, p. 4-15, 2015.

QIUPING, W.; SHUNBING, Z.; CHUNQUAN, DU. Study on key technologies of Internet of Things perceiving mine. **Procedia Engineering**, v. 26, p. 2326-2333, 2011.

RADZIWON, A.; BILBERG, A.; BOGERS, M.; MADSEN, E. The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. **Procedia Engineering**, v. 69, p. 1184-1190, 2014.

RAO, B.B. P.; SALUIA, P.; SHARMA, N.; MITTAL, A.; SHARMA, S. V. Cloud Computing for Internet of Things & Sensing Based Applications. **International Conference on Sensing Technology**, India, Dec.. 2012.

READY, P. J.; GUNASEKARAN, A.; SPALANZANI, A. Bottom-Up Approach based on Internet Of Things for Order Fulfillment in a Collaborative Warehousing Environment. **International Journal of Production Economics**, v. 159, p. 29-40, Mar. 2014.

REKIK, Y.; SAHIN, E.; DALLERY, Y. Analysis of the Impact of the RFID Technology on Reducing Product Misplacement Errors at Retail Stores. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 264-278, Mar. 2006.

REZAEI, M.; SHIRAZI, M. A.; KARIMI, B. IoT-based framework for performance measurement: A real-time supply chain decision alignment. **Industrial Management & Data Systems**, Austrália, v. 117, n. 4, p. 688-712, Mar. 2017.

RITCHIE, B.; BRINDLEY, C. **Supply Chain Risk**. [S.l.]: Clare Brindley, 2004.

ROBINSON, J. B. L. Delphi Methodology for Economic Impact Assessment. **Journal of Transportation Engineering**, v. 117, n. 3, p. 335-349, 1991.

ROHRBAUGH, J. Improving the quality of group judgment: Social judgment analysis and the Delphi technique. **Organizational Behavior and Human Performance**, Albany, v. 24, p. 73-92, 1979.

ROUVOY, R.; BARONE, P.; DING, Y.; ELIASSEN, F.; HALLSTEINSEN, S.; LORENZO, J.; MAMELLI, A.; SCHOLZ, U. **MUSIC: Middleware Support for Self-Adaptation in Ubiquitous and Service-Oriented Environments**. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. **International Journal of Forecasting**, Reino Unido, v. 15, n. 4, p. 353-375, 1999.

RUSSEL, R. S.; TAYLOR, B. W. . **Operations Management along the Supply Chain**. [S.l.]: Hoboken: John Wiley & Sons., 2009.

SAEED, K. A.; MALHOTRA, M. K.; GROVER, V. Examining the Impact of Interorganizational Systems on Process Efficiency and Sourcing Leverage in Buyer–Supplier Dyads. **Decision Sciences**, v. 36, n. 3, p. 365-396, Aug. 2005.

SAHAY, B. S.; RANJAN, J. Real time business intelligence in supply chain analytics. **Information Management & Computer Security**, v. 16, n. 1, p. 28-48, Mar. 2008.

SAUER, P. C.; SEURING, S. Sustainable supply chain management for minerals. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 235-249, 2017.

SAYYADI, R.; AWASTHI, A. A system dynamics based simulation model to evaluate regulatory policies for sustainable transportation planning. **International Journal of Modelling and Simulation**, v. 37, n. 1, p. 25-35, 2017.

SCHMIDT, R.; MOHRING, M.; HARTING, RM; REICHSTEIN, C. Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. **Lecture Notes in Business Information Processing**, p. 16-27, 2015.

SCHOLTEN, K.; FYNES, B. Risk and Uncertainty Management for Sustainable Supply Chains. **Springer International Publishing**, p. 413-436, Jan. 2017.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S.; COOK, S. W. **Métodos de pesquisa das relações sociais**. São Paulo: Pedagógica Universitária, 1975.

SHEFER, D.; STROUMSA, J. Street-Lighting Projects Selection: A Rational Decision Making Approach. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 16, n. 6, p. 245-259, Mar. 1982.

SHEHABUDDEEN, N.; PROBERT, D.; PHAAL, R. **Representing and approaching complex management issues: part 1 – role and definition**. England: Working Paper UC, 2000.

SHENG, Q. Z.; LI, X.; ZEADALLY, S. Enabling Next Generation RFID Applications: Solutions and Challenges. **IEEE Computer Society**, v. 41, n. 9, p. 21-28, 2008.

SHROUF, F; ORDIERES-MERÉ, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm. **Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**, p. 697-701, Dec. 2014.

SIEMIENIUCH, C. ; SINCLAIR, A.; HENSHAW, M.. Global drivers, sustainable manufacturing and systems ergonomics. **Applied Ergonomics**, v. 51, p. 104-119, Nov. 2015.

SIMATUPANG, T. M.; WRIGHT, A.C.; SRIDHARAN, R. Applying the theory of constraints to supply chain collaboration. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 9, n. 1, p. 57-70, Feb. 2004.

SKULMOSKI, G. J.; HARTMAN, F. T.; KRAHN, J. The Delphi Method for Graduate Research. **Journal of Information Technology Education**, v. 6, p. 1-21, Jan. 2007.

SONNTAG, V. Sustainability - In light of competitiveness. **Ecological Economics**, v. 34, n. 1, p. 101-113, Jul. 2000.

SOURANI, A.; SOHAIL, M. The Delphi Method: Review and Use in Construction Management Research. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 11, n. 1, p. 54-76, May 2015.

SPERANZA, M. G. Trends in transportation and logistics. **European Journal of Operational Research**, Brescia, v. 264, n. 3, p. 830-836, Feb. 2018.

SQUIRE, B.; COUSINS, P. ; LAWSON, B.; BROWN, S. The effect of supplier manufacturing capabilities on buyer responsiveness: The role of collaboration. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 8, p. 766-788, Jul. 2009.

STEVENS, G. Integrating the Supply Chain. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 19, n. 8, p. 3-8, 2007.

STOREY, J.; EMBERSON, C.; GODSELL, J.; HARRISON, A. Supply chain management: theory, practice and future challenges. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 7, p. 754-774, 2006.

STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0, Global Value Chains and International Business. **Multinational Business Review**, v. 25, n. 3, p. 174-184, 2017.

SYAFRUDIN, M; ALFIAN, G.; FITRIYAN, N.; RHEE, J. Performance Analysis of IoT-Based Sensor, Big Data Processing, and Machine Learning Model for Real-Time Monitoring System in Automotive Manufacturing. **Sensors**, v. 18, n. 9, 2018.

TARAFDAR, M.; QRUNFLEH, S. Agile supply chain strategy and supply chain performance: complementary roles of supply chain practices and information systems capability for agility.. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 4, p. 925-938, 2017.

TEIMOURY, E.; FATHIAN, M.; CHAMBAR, I. Automation of the supply chain performance measurement based on multi-agent system. **Int. J. Agile Systems and Management**, v. 6, n. 1, p. 25-42, 2013.

THOMAS, D.; GRIFFIN, P. Coordinated supply chain management. **European Journal of Operational Research**, Atlanta, v. 94, n. 1, p. 1-15, 1996.

TOMHAVE, L. B. **Alphabet Soup: Making Sense of Models, Frameworks, and Methodologies**. Brasil: Creative Commons Attribution NonCommercial-NoDerivs 2.5 License, 2005. Disponível em: <https://www.secureconsulting.net/Papers/Alphabet_Soup.pdf>. Acesso em: 30 out. 2018.

UM, J; LYONS, A.; LAM, H.; DOMINGUEZ-PERY, C.; CHENG, T. C. E.. Product variety management and supply chain performance: A capability perspective on their relationships and competitiveness implications.. **International Journal of Production Economics**, v. 187, p. 15-26, May 2017.

UNGUREAN, I.; GAITAN, N. C.; GAITAN, V. G. A Middleware Based Architecture for the Industrial Internet of Things. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, Romania, v. 10, n. 7, p. 2874-2891, Jul. 2016.

VON DER GRACHT, H. A.; DARKOW, I.-L. Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-based analysis for 2025. **International Journal of Production Economics**, Alemanha, v. 127, n. 1, p. 46-59, May 2010.

WALTERS, D.; BUCHANAN, J.. The new economy, new opportunities and new structures. **Management Decision**, v. 39, n. 10, p. 818–833, Dec. 2001.

WAN, J.; YI, M.; LI, D.; ZHANG, C.; WANG, S.; ZHOU, K.. Mobile Services for Customization Manufacturing Systems: An Example of Industry 4.0. **IEEE Access**, 2016. 8977-8986.

WANG, Y.; W., S.; SHEN, B.; CHOI, T.. Service supply chain management: A review of operational models. **European Journal of Operational Research**, v. 247, n. 3, p. 685-698, Mar. 2015.

WANG, D.; LEE S.; ZHU, Y.; LI, Y. A zero human-intervention provisioning for industrial IoT devices. **IEEE International Conference**, p. 1271-1276, Mar. 2017.

WANG, L. Machine availability monitoring and machining process planning towards Cloud manufacturing. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, Sweden, v. 6, n. 4, p. 263-273, 2013.

WANG, M. L.; QU, T.; ZHONG, R. Y.; DAI, Q. Y.; ZHANG, X. W.; HE, J. B.. A radio frequency identification-enabled real-time manufacturing execution system for one-of-a-kind production manufacturing: a case study in mould industry. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, China, v. 25, n. 1, p. 20-34, 2012.

WANG, Z. Z; QU, T.; LEI, S. P.; NIE, D. X.; CHEN, X.; HUANG, GEORGE Q.. IoT-based real-time production logistics synchronization system under smart cloud manufacturing. **International Journal of Advanced Manufacturing**, v. 84, n. 1, p. 147-164, 2015.

WINKLER, J.; MOSER, R. Biases in future-oriented Delphi studies: A cognitive perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 105, p. 63-76, Jan. 2016.

WITTENBERG, C. Human-CPS Interaction – requirements and human-machine interaction. **IFAC PapersOnLine**, Heilbronn, v. 49, n. 19, p. 420–425, 2016.

WONG, K. S.; KIM, M. H. Privacy protection for data-driven smart manufacturing system. **International Journal of Web Services Research**, v. 14, n. 3, p. 17-32, Sep. 2017.

WU, K.-J.; LIAO, C.-J.; TSENG, M.-L.; LIM, M. K.; HU, J.; Tan, Kimhua. Toward sustainability: using big data to explore the decisive attributes of supply chain risks and uncertainties. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 663-676, 2017.

WU, N.C.; NYSTROM, M.A.; LIN, T.R.; YU, H.C. Challenges to global RFID adoption. **Technovation**, Taiwan, v. 26, n. 12, p. 1317–1323, 2006.

YAN, B.; JIN, Z.; LIU, L.; LIU, S. Factors influencing the adoption of the internet of things in supply chains. **Journal of Evolutionary Economics**, Alemanha, v. 28, n. 3, 2017.

YANG , L.; YANG, S. H. H.; PLOTNICK,. How the internet of things technology enhances emergency. **Technological Forecasting & Social Change**, Loughborough, v. 80, n. 9, p. 1854–1867, Nov. 2013.

YAWAR, S. ; SEURING, S. Management of Social Issues in Supply Chains: A Literature Review Exploring Social Issues, Actions and Performance Outcomes. **Journal of Business Ethics**, v. 141, p. 621–643, Mar. 2017.

YOUNGDAHL, W. E.; LOOMBA, A. P. S. Service-driven global supply chains. **International Journal of Service Industry Management**, v. 11, n. 4, p. 329-347, 2000.

YU, J.; SUBRAMMANIAN, N.; NING , K. ; EDWARDS, D.. Product delivery service provider selection and customer satisfaction in the era of internet os things: A Chinese e-retailers' perspective. **International Journal of Production Economics**, Zhejiang, v. 159, p. 104-116, 2015.

YUE, X.; CAI, H.; YAN, H.; ZOU, C.; ZHOU, K. Cloud-assisted industrial cyber-physical systems: An insight. **Microprocessors and Microsystems**, Guangzhou, v. 39, n. 8, p. 1262-1270, Aug. 2015.

ZENG, H.; CHEN, X.; XIAO, X.; ZHOU, Z. Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco-industrial park firms. **Journal of Cleaner Production**, v. 155, p. 54-65, Jul. 2017.

ZHANG, D.; HUANG, H.; JO, M. Future RFID technology and applications: visions and challenges. **Telecommunication Systems**, USA, v. 58, n. 3, 2015.

ZHANG, Y.; ZHANG, G.; WANG, JUNQIANG; S.; SI, S.; YANG, T. Real-time information capturing and integration framework of the internet of manufacturing things. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, China, v. 28, n. 8, Mar. 2014.

ZHENG, P.; WANG, H.; SANG, Z.; ZHONG, R.; LIU, Y.; LIU, C.; MUBAROK, K.; YU, S.; XU, X. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers od Mechanical Engineering**, New Zealand, v. 13, n. 2, p. 137-150, 2018.

ZHONG, R.Y.; TAN, K.; BHASKARAN, G. Data-driven food supply chain management and systems. **Industrial Management & Data Systems**, v. 117, n. 9, p. 1779-1781, Oct. 2017.

ZHONG, R. Y.; DAI, Q.Y; QU, T.; HU, G.J.; HUANG, GEORGE Q. RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, China, v. 29, n.^o 2, p. 283-292, 2012.

ZHOU, L.; CHONG, Alain ; NGAI, Eric T. Supply chain management in the era of the internet of things. **International Journal of Production Economics**, UK; China, v. 159, p. 1-3, 2015.

ZOUCA, A. C. **Um *framework* de métodos para o desenvolvimento de modelos de capacidade de processo**. São José (SC): UNIVALI, 2010.