

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI  
LALESCA LOPES BEGO

**O PAPEL DA INTERNET DAS COISAS (IoT) NAS PRÁTICAS DA MANUFATURA  
ÁGIL: uma análise da interação do modelo conceitual de manufatura ágil com as categorias  
de aplicativos da IoT**

São Bernardo do Campo

2021

Lalesca Lopes Bego

**O PAPEL DA INTERNET DAS COISAS (IoT) NAS PRÁTICAS DA MANUFATURA  
ÁGIL:** uma análise da interação do modelo conceitual de manufatura ágil com as categorias  
de aplicativos da IoT

Dissertação de mestrado apresentada ao Centro  
Universitário FEI, como parte dos requisitos  
necessários para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Mecânica. Orientado pela  
Profa. Dra. Cláudia Aparecida Mattos.

São Bernardo do Campo

2021

Lopes Bego, Lalesca.

O PAPEL DA INTERNET DAS COISAS (IoT) NAS PRÁTICAS DA MANUFATURA ÁGIL: uma análise da interação do modelo conceitual de manufatura ágil com as categorias de aplicativos da IoT / Lalesca

Lopes Bego. São Bernardo do Campo, 2021.

88 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Cláudia Aparecida Mattos.

1. Internet das Coisas. 2. Manufatura Ágil. 3. Agilidade. I. Mattos, Cláudia Aparecida, orient. II. Título.

**Aluno:** Lalesca Lopes Bego

**Matrícula:** 219114-6

**Título do Trabalho:** O PAPEL DA INTERNET DAS COISAS (IoT) NAS PRÁTICAS DA MANUFATURA ÁGIL: uma análise da interação do modelo conceitual de manufatura ágil com as categorias de aplicativos da IoT.

**Área de Concentração:** Produção

**Orientador:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Claudia Aparecida Mattos

**Data da realização da defesa:** 10/06/2021

**ORIGINAL ASSINADA**

**Avaliação da Banca Examinadora:**

A banca deliberou pela aprovação da candidata Lalesca Lopes Bego. Foi acordado com os membros da banca os ajustes na parte da Revisão sistemática e inclusão dos dados utilizados no estudo.

São Bernardo do Campo, 10 / 06 / 2021 .

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Claudia Aparecida Mattos

Ass.: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Marcel Heimar Ribeiro Utiyama

Ass.: \_\_\_\_\_

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana Veiga Mendes

Ass.: \_\_\_\_\_

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO

**VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO**

**APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA**

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco

Á Deus e minha família, que sempre estiveram  
ao meu lado, sendo minha inspiração, em todos  
os momentos da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, e por me conceder sempre foco, fé e coragem para continuar lutando e superando barreiras.

A minha família, por me incentivar a tornar uma pessoa cada vez melhor, pelo apoio nesta jornada e pelas palavras de conforto nos momentos em que me deparei com adversidades. Um agradecimento especial a minha vó Ivandir (em memória), minha fonte de inspiração, admiradora, minha eterna professora.

A minha orientadora, Profa. Dra. Cláudia Aparecida de Mattos, pela sua atenção, compreensão, auxílio e compartilhamento de conhecimento, tornando os caminhos de execução da pesquisa mais leve.

Ao Centro Universitário FEI, pela oportunidade de realizar este sonho, e por proporcionar infraestrutura, conhecimento e compartilhamento de experiência.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo” (Albert Einstein).

## RESUMO

A dinâmica dos negócios tem passado por constantes mudanças nas últimas décadas, devido alterações nas condições de mercado, mudança nas exigências dos clientes e transformação da competição de mercado local para mercado global. Com isto, fez-se necessário remodelar os paradigmas de produção, procurando por práticas que permitam um ambiente de fabricação mais flexível e ágil. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o papel da tecnologia IoT para o viabilizar as práticas da Manufatura Ágil e entender como as empresas estão integrando os conceitos da manufatura ágil e Internet das Coisas. De forma a atingir este objetivo, foi realizado um estudo de multicasos em cinco empresas que estão aplicando a tecnologia *Internet of Things* em seu chão de fábrica. O resultado desta pesquisa mostra que empresas de diferentes portes estão buscando na tecnologia uma forma remodelar seus negócios e garantir a competitividade, e este processo de transformação digital parte da tecnologia base, que é a Internet das Coisas. Há casos de aplicação da IoT a nível de processo, aplicando esta tecnologia apenas em um ou alguns estágios do chão de fábrica, mas também há exemplos de aplicações em toda a planta, e em ambas estratégias foi possível observar benefícios no tempo de resposta ao mercado, capacidade de personalização, custos de fabricação, flexibilidade, performance operacional, dentre outros, que são aspectos importantes para melhorar os níveis de agilidade de uma companhia, viabilizando as práticas da Manufatura Ágil.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Manufatura Ágil. Agilidade.

## ABSTRACT

The dynamics of business has leading with constant changes in recent decades, due to changes in market conditions, changes in customer requirements and the transformation of competition from local to global markets. So, it was necessary to remodel the production paradigms, looking for practices that allow a more flexible and agile manufacturing environment. In this context, this study aims to analyze the role of IoT technology to enable Agile Manufacturing practices and understand how companies are integrating the concepts of agile manufacturing and *Internet of Things*. In order to achieve this objective, a multi-case study was carried out in five companies that are applying the Internet of Things technology on their shop floor. The result of this research shows that companies of different sizes are looking at technology as a way to remodel their businesses and ensure competitiveness, and this digital transformation process starts from the base technology, which is the Internet of Things. There are cases of application of IoT at the process level, applying this technology only in one or a few stages of the shop floor, but there are also examples of applications throughout the plant, and in both strategies it was possible to observe benefits in the time of response to the market , personalization capacity, manufacturing costs, flexibility, operational performance, among others, which are important aspects to improve a company's agility levels, making Agile Manufacturing practices feasible.

Keywords: Internet of Things. Agile Manufacturing. Agility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Framework do processo de transformação digital .....	16
Figura 2 - Estrutura das tecnologias digitais na Indústria 4.0 .....	17
Figura 3 - Blocos funcionais da IoT .....	19
Figura 4 - Arquitetura IoT .....	20
Figura 5- Os cinco estágios da Internet das Coisas .....	22
Figura 6 - Aplicações da tecnologia IoT .....	25
Figura 7 - Tendências de mercado .....	28
Figura 8 - Os pilares da Manufatura Ágil.....	30
Figura 9 – Modelo conceitual da agilidade .....	35
Figura 10 - Modelo Conceitual para Implementação da Manufatura Ágil .....	36
Figura 11 - Framework da Manufatura Ágil .....	38
Figura 12 - Modelo de Pesquisa .....	40
Figura 13 - Evolução de publicações - Agile Manufacturing.....	42
Figura 14 - Rede de ocorrência de palavras – Agile Manufacturing.....	43
Figura 15 - Evolução de publicações - Internet of Things .....	44
Figura 16 - Rede de ocorrência de palavras – Agile Manufacturing.....	45
Figura 17 - Evolução de publicações – Industry & Agility.....	46
Figura 18 - Rede de ocorrência de palavras – Industry & Agility.....	47
Figura 19 - Protocolo de Pesquisa .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para escolha da metodologia de pesquisa.....	48
Tabela 2 - Lista de entrevistados .....	52
Tabela 3 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa A .....	55
Tabela 4 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa B.....	58
Tabela 5 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa C.....	61
Tabela 6 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa D .....	64
Tabela 7 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa E.....	68
Tabela 8 - Resumo dos casos.....	69
Tabela 9 - Mapa de Calor: Categorias de Aplicativos IoT vs Agilidade entre as companhias	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL .....	15
2.2 INTERNET DAS COISAS (IOT ) .....	18
<b>2.2.1 Estágios da Internet das Coisas</b> .....	21
<b>2.2.2 Categorias das Aplicações IoT</b> .....	24
2.3 AGILE MANUFACTURING .....	27
<b>2.3.1 Modelos Conceituais da Manufatura Ágil e IoT</b> .....	34
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	41
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....	41
3.2 METODOLOGIA E ABORDAGEM DE PESQUISA .....	48
3.3 PROTOCOLO DE PESQUISA.....	49
3.4 CRITÉRIO DE ESCOLHA DAS EMPRESAS .....	50
3.5 PERFIL DOS ENTREVISTADOS .....	51
3.6 PROPOSIÇÕES DE PESQUISA .....	52
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	53
4.1 EMPRESA A.....	53
4.2 EMPRESA B .....	55
4.3 EMPRESA C .....	59
4.4 EMPRESA D.....	62
4.5 EMPRESA E .....	65
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	69
5.1 CONTRIBUIÇÕES .....	76
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	78
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	80
<b>ANEXO A – ROTEIRO DE PERGUNTAS</b> .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

Ter um sistema de produção responsivo, com produtos de qualidade e baixo custo é o que a maioria, se não todas, as empresas almejam, e algumas das estratégias utilizadas para alcançar as melhorias produtivas são gestão da qualidade total, *just in time* (JIT) e sistemas de planejamento informatizado, como ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MRP (*Material Requirements Planning*). No entanto, com os desafios do mercado, caracterizado por um ambiente volátil, onde ocorrem mudanças contínuas e imprevisíveis, tais técnicas não garantem mais lucros e competitividade. Em resposta aos problemas enfrentados, surge em 1990 o conceito de manufatura ágil, apontado como um método para ajudar as empresas a alcançar maiores níveis de responsividade e soluções inovadoras frente a concorrência, através da integração de toda a empresa. (GUNASEKARAN et al., 2017)

De acordo com Dubey e Gunasekaran (2014), o ambiente de manufatura ágil requer tecnologias que permitam o compartilhamento de informações de maneira eficaz e eficiente, assim como a integração do sistema produtivo. Estes atributos podem ser viabilizados pela transformação digital, onde conforme descreve Demirkan, Spohrer e Welser (2016), é a transformação profunda e acelerada das atividades de negócios, competências e processos que visa alavancar as oportunidades criadas pelas novas tecnologias. As novas tecnologias digitais permitem grandes melhorias nos negócios, como proporcionar maior agilidade nas operações, aprimorar a interação com os clientes e também permite a criação de novos modelos de negócios. (FITZGERALD et al., 2014)

A transformação digital na indústria, tem sido popularmente abordada pelo termo Indústria 4.0 (GÖLZER; FRITZSCHE, 2017). Lu (2017) explica que a Indústria 4.0 facilita a interconexão e a informatização na indústria tradicional, e tem como objetivos fornecer customização em massa, rastreamento de peças e produtos, otimização da produção, novos tipos de serviços e modelos de negócio, dentre outros. Tais capacitações são viabilizadas pela *Internet of Things*, tecnologia considerada a base da indústria 4.0, que permite a conexão entre produtos, máquinas, sistemas e pessoas e promove o sensoriamento do sistema produtivo, fornecendo informações em tempo real, que traz benefícios como maior flexibilidade, menores prazos de entrega e redução de custos (MOHAMED, 2018).

Apesar das vantagens que as tecnologias digitais podem proporcionar, Fitzgerald et al. (2014) destacam que há uma falta de experiência para conduzir efetivamente uma transformação por meio de tecnologias digitais. Mohamed (2018) explica que a grande maioria das empresas ainda não tem conhecimento dos desafios a serem enfrentados ao realizar sua

implementação. Frank, Dalenogare e Ayala (2019) relatam que há carência de estudos que apresentem evidências sobre o modo em que estas tecnologias devem ser adotadas nas empresas manufatureiras. Gunasekaran et al. (2018) descrevem que atualmente ainda há uma lacuna quanto a estrutura de operacionalização, das tecnologias digitais no ambiente de manufatura, e Gunasekaran et al. (2017) adicionam que há uma necessidade de pesquisas acerca da IoT dentro da manufatura ágil. Akhtara et al. (2017) reiteram que são necessários estudos empíricos sobre os mecanismos pelos quais a IoT afeta a agilidade operacional.

Com base nos autores mencionados, o presente estudo aborda a seguinte questão: Como as organizações estão trabalhando a interação entre o modelo conceitual de Manufatura Ágil e as categorias IoT? Desdobrando esta questão para entender como a manufatura pode tirar o máximo proveito desta tecnologia para obter operações mais rápidas e eficientes, de forma a conseguir um sistema com maiores níveis de agilidade e responsividade.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Partindo da pergunta geral, o presente trabalho tem como objetivo analisar o papel da tecnologia *Internet of Things* para o viabilizar as práticas da Manufatura Ágil e entender como as empresas estão integrando os conceitos da manufatura ágil e IoT.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Visando alcançar o objetivo do estudo e analisar seus impactos, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento teórico das categorias de aplicação da IoT
- Levantamento teórico de modelos conceituais da Manufatura Ágil e IoT;
- Identificar projetos IoT que estão sendo implementados nas organizações;
- Análise do nível de maturidade de Internet das Coisas nas companhias;
- Analisar impactos da IoT na agilidade.

A Internet das Coisas é uma maneira de transformação digital na manufatura, que emprega uma rede de sensores para coletar dados do sistema produtivo e utiliza software em nuvem para transformar os dados em informações valiosas acerca da eficiência das operações de fabricação.

Na tentativa de manter ou até mesmo melhorar sua competitividade, as empresas buscam novas maneiras de aprimorar as operações da cadeia de suprimentos e manufatura.

Neste contexto, a transformação digital é considerada um meio no qual as empresas podem alcançar tais propósitos.

De forma a alcançar os objetivos previstos, a estrutura do estudo consiste em primeiramente realizar um detalhamento dos conceitos que norteiam o estudo, posteriormente apresentar o modelo de pesquisa proposto com base na fundamentação teórica, em seguida a metodologia de pesquisa que será aplicada na dissertação e por fim apresentar o estudo de caso e resultados obtidos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A implementação de soluções de IoT em uma empresa nasce em um processo de transformação digital, onde primeiramente é realizado uma abordagem orientada das estratégias empresariais, e posteriormente é feita uma consideração das tecnologias digitais adequadas para atingimento dos objetivos (PFLAUM; GÖLZER, 2018). Neste contexto, a fundamentação teórica do estudo está estruturada nos seguintes tópicos: transformação digital, que busca apenas contextualizar o framework e apresenta o impacto na proposta de valor das organizações. Em seguida, é feita uma abordagem sobre *Internet of Things*, destacando as categorias das aplicações da IoT com foco na manufatura, posteriormente é apresentado um tópico abordando os conceitos da manufatura ágil, destacando os seus respectivos modelos conceituais, e por fim, é apresentado o modelo de pesquisa.

### 2.1 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

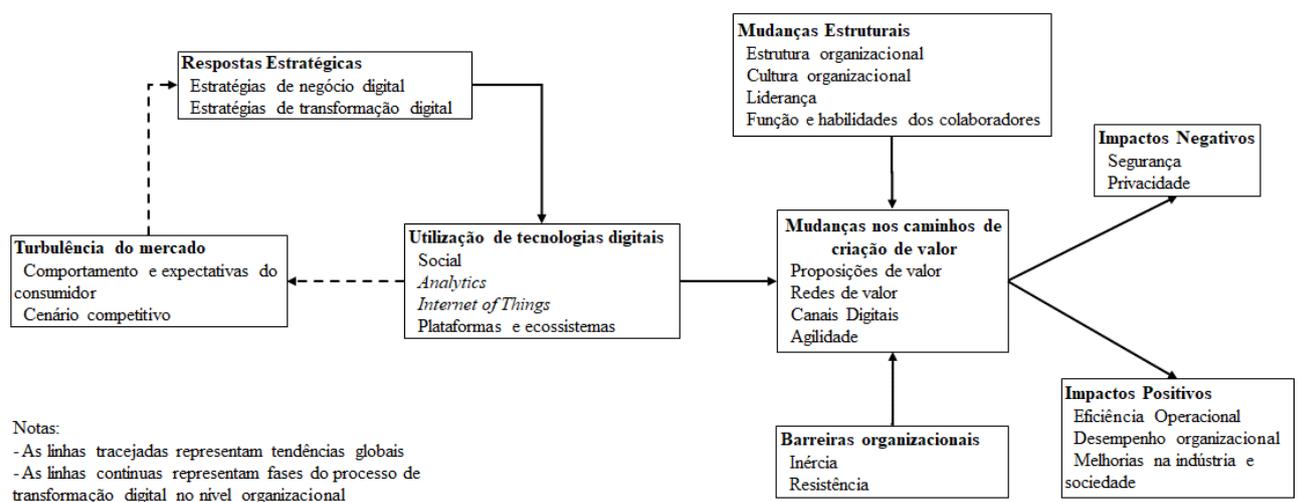
Ao falar em competição baseada no tempo, conseqüentemente pensamos em inovação, e nos dias atuais, está palavra vem seguida por tecnologias. O desafio da inovação está em originar novas ideias, porém o tempo é quem dita o sucesso das inovações, uma vez que inovar quer dizer mudanças, e as mudanças são medidas como inovações por unidade de tempo. As empresas que conseguirem reduzir seu tempo de inovação, não ficar presos nos ciclos viciosos de longos tempos de desenvolvimento e introdução de novos produtos, irão ganhar competitividade frente aqueles que não se concentram no tempo. Inovação, tempo e competitividade andam juntos, onde empresas com ciclos de inovação mais rápidos podem sair de posições de seguidor e alcançar posições de liderança em seu ramo em cerca de dez anos (STALK; HOUT, 2016).

O rápido desenvolvimento e a adoção da internet e tecnologias digitais têm atingido praticamente todas as áreas de negócios e mudado drasticamente os processos de negócios, conduzindo para uma transformação digital da cadeia de valor industrial global. Em um ambiente competitivo e em constante mudanças como o atual, a inovação digital é uma alternativa essencial para que as empresas consigam sobreviver no mercado. As ferramentas digitais possibilitam reduções de custos, aumentos na produtividade, dentre outros fatores que permitem o desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços (SAVASTANO et al., 2019).

De acordo com Tekic e Koroteev (2019), a transformação digital é um fenômeno de múltiplas faces, uma vez que apresenta diferentes aspectos e implicações para diferentes empresas. Algumas empresas veem a transformação digital como uma forma de otimização de processos e redução de custos, enquanto que outras veem como uma possibilidade de criação de valor, ofertando novos produtos e serviços, já outras veem como uma oportunidade de encontrar e atender novos clientes, e todas essas perspectivas podem ser válidas e corretas. Vial (2019) define a transformação digital como um processo que tem por objetivo melhorar uma companhia, através de alterações em suas características, por meio combinações de tecnologias de informação, comunicação, computação e conectividade. Fitzgerald et al. (2014) reiteram que a transformação digital é o uso de tecnologias digitais, como mídias sociais, celulares e dispositivos incorporados com sensores para permitir melhorias nos negócios, tais como aprimoramento da experiência do cliente, otimização de operações e criação de novos modelos de negócios.

Vial (2019) propõe um framework com o objetivo de analisar o processo da transformação digital. Na estrutura apresentada pelo autor, figura 1, a utilização de tecnologias digitais representa um papel central no processo da transformação digital, uma vez que com as constantes transformações no mercado, as empresas precisam procurar respostas estratégicas para se manterem competitivas, desta forma as organizações buscam nas tecnologias digitais novos caminhos para criação de valor. Para atingir os impactos positivos desejados, as companhias precisarão implementar mudanças estruturais assim como superar barreiras organizacionais, porém resultados indesejáveis também podem acontecer durante o processo.

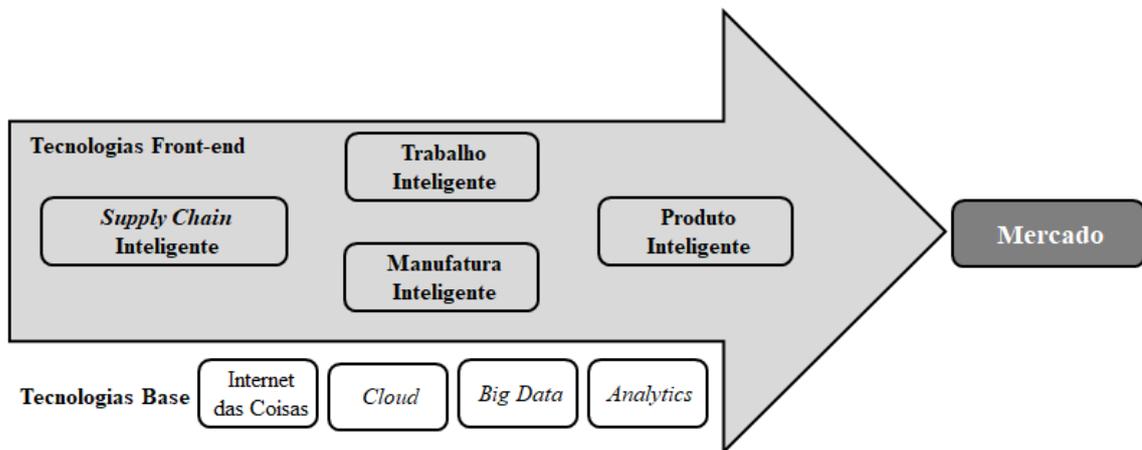
Figura 1 - Framework do processo de transformação digital



No framework apresentado é possível observar que as tecnologias digitais são base para obtenção de melhores desempenhos de agilidade (criação de valor), e uma das tecnologias abordadas é a Internet das Coisas.

A transformação digital na indústria, tem sido popularmente abordada pelo termo Indústria 4.0 (GÖLZER; FRITZSCHE, 2017). Com o objetivo de proporcionar um melhor entendimento das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas de manufatura, Frank, Dalenogare e Ayala (2019) propuseram uma estrutura, que é dividida em duas camadas: *front-end technologies* e *base technologies*, conforme representado na figura 2.

Figura 2 - Estrutura das tecnologias digitais na Indústria 4.0



Fonte: Autor adaptado de Frank, Dalenogare e Ayala, 2019, p.16

A primeira camada, tecnologias de frente, é composta por quatro dimensões principais da Indústria 4.0: manufatura inteligente (*Smart Manufacturing*), produtos inteligentes (*Smart Products*), cadeia de suprimentos inteligente (*Smart Supply Chain*) e trabalho inteligente (*Smart Working*). Já a segunda camada (tecnologias base) é formada pelas tecnologias que fornecem conectividade e inteligência a primeira camada: *Internet of Things*, *Cloud*, *Big Data* e *Analytics*. As tecnologias base permitem que as tecnologias de frente sejam conectadas ao sistema produtivo, possibilitando a integração completa deste.

A adoção de tecnologias capacitadores da indústria 4.0 possui grande impacto nos sistemas de produção, oportunizando melhorias no desempenho técnico, econômico e social da fábrica. A IoT é considerada tecnologia chave para os processos produtivos, uma vez que a partir desta, cada estação de trabalho, local de armazenamento, equipamento e produto são sensorizados, comunicando-se em tempo real (BORTOLINI et al., 2017). Mohamed (2018) reitera que a IoT é a tecnologia central da Indústria 4.0.

## 2.2 INTERNET DAS COISAS (IOT )

A IoT vem sendo reconhecida como uma das tecnologias futuras mais importantes e chamando a atenção das indústrias, ao criar a possibilidade da integração e comunicação entre dispositivos e fornecer uma visibilidade mais precisa e em tempo real do fluxo de produtos e materiais. (LEE; LEE, 2015)

O termo *Internet of Things* foi utilizado pela primeira vez por Kevin Ashton, em 1999, ao trabalhar em um padrão para etiquetas de objetos utilizando RFID (*Radio-Frequency Identification*), em aplicações logísticas. Desde então pesquisadores vem investigando sistemas com foco em redes de sensores, *cloud technologies* e redes de comunicação (WEYRICH; EBERT, 2016).

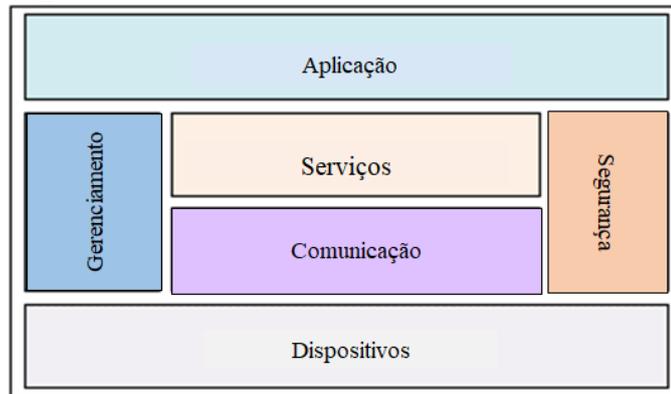
De acordo com Gartner (2017), a *Internet of Things* é uma rede de objetos físicos que possuem tecnologia incorporada (sensores ou atuadores), possibilitando que estes se comuniquem e interajam com o ambiente externo ou com seus estados internos. A conexão de objetos, pessoas e processos permite que dados e eventos sejam capturados, possibilitando que a empresa crie conhecimento sobre o comportamento e uso, podendo reagir de forma preventiva ou até mesmo transformar seus processos de negócios.

Ray (2017) divide o sistema IoT em seis blocos funcionais, conforme ilustra a figura 3, descritos abaixo:

- a) Dispositivo: O sistema da Internet das Coisas é baseado em dispositivos que provêm detecção, atuação, controle e monitoramento. Os dispositivos podem realizar uma troca de dados com outros dispositivos conectados, como também coletar dados e processá-los ou até mesmo enviá-los para servidores ou aplicativos. Um dispositivo IoT pode possuir diversas interfaces para realizar a comunicação com outros dispositivos, podendo ser com ou sem fio, estas interfaces incluem: interfaces de I/O para sensores, interfaces para conexão com a internet, interfaces para memória e armazenamento e interfaces de vídeo e áudio.
- b) Comunicação: o bloco de comunicação é responsável pela comunicação entre dispositivos e servidores remotos.
- c) Serviços: O sistema IoT atende diversos tipos de funções, como dispositivos para modelagem de serviços, publicação e análise de dados e controle de dispositivos.
- d) Gerenciamento: Este bloco traz diferentes formas de se governar um sistema IoT.
- e) Segurança: A segurança é responsável pela proteção do sistema IoT, provendo conteúdo e segurança dos dados.

- f) Aplicação: Este bloco é o mais importante no que se diz respeito a interface com o usuário, uma vez que as aplicações permitem a estes a visualização e análise do status dos sistemas.

Figura 3 - Blocos funcionais da IoT



Fonte: Autor adaptado de Ray, 2017, p. 397

Conforme Ray (2017) a IoT pode ser caracterizada como detentora de fatores chaves para a utilidade:

- a) Dinâmica e auto adaptável: os dispositivos IoT possuem a capacidade de se adaptar dinamicamente as mudanças de cenários e realizar ações baseados no ambiente detectado e nas condições operacionais;
- b) Autoconfiguração: os dispositivos IoT possuem capacidade de autoconfiguração, possibilitando que uma grande quantidade de dispositivos trabalhe juntos. Estes dispositivos possuem capacidade de se configurar, configurar a rede e procurar por atualizações recentes de software com pouca ou nenhuma intervenção manual;
- c) Protocolos de comunicação interoperáveis: os dispositivos IoT possuem capacidade para suportar diferentes protocolos de comunicação interoperáveis, assim como comunicar-se com outros dispositivos;
- d) Identidade única: os dispositivos IoT possuem uma identidade única, assim como um identificador exclusivo (como o endereço de IP ou URI);
- e) Integração com a rede de informações: os dispositivos IoT usualmente são integrados a rede de informações, o que possibilita que estes se comuniquem e troquem dados com outros dispositivos e sistemas.

O desenvolvimento disruptivo da tecnologia IoT tem atraído a atenção de empresas de diferentes setores, devido a sua relevância e impactos proporcionados. Desta forma, um grande número de pesquisas e iniciativas foram formados buscando a definição de padrões e melhores

práticas. E a indústria manufatureira está especialmente envolvida neste contexto, a procura de estruturas de referência, que forneçam uma estrutura capaz de transformar as oportunidades das tecnologias disponíveis em orientação compreensível para as partes envolvidas (BADER; MALESHKOVA; LOHMANN, 2019).

Além dos aspectos funcionais, a arquitetura também é um ponto importante a ser entendido. Antão et al. (2018) propõe uma arquitetura IoT simplificada, que é subdividida em cinco camadas: camada de percepção, camada de rede, camada de *middleware*, camada de aplicação e camada de negócios, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4 - Arquitetura IoT



Fonte: Autor adaptado Antão et al., 2018, p. 1

A primeira camada, camada de percepção, é composta pelos objetos físicos que estão sendo monitorados e controlados por sensores e atuadores, onde seu principal objetivo é a coleta de dados dos sensores e dos comandos dos atuadores. Após a coleta de dados, estes são enviados a camada *middleware* através da camada de rede, que é composta por diferentes tecnologias de rede que possibilitam esta transmissão de informações. A camada de *middleware*, por sua vez, é responsável pelo processamento de informações, onde estas são armazenadas e analisadas através de metodologias avançadas de análises de dados. Os dados coletados e analisados podem ser apresentados ao usuário final pela quarta camada, camada de aplicação. Por fim, a camada de negócios permite o gerenciamento e controle estratégico das funcionalidades da plataforma IoT.

Conforme o RBV (resource-based view), os recursos e capacidades específicas de uma organização que gerem benefícios econômicos, e não podem ser facilmente copiados pelos concorrentes, são considerados uma forte fonte de vantagem competitiva. Recurso pode ser definido como qualquer coisa que possa ser vista como uma força da empresa, podendo ser tanto ativos tangíveis como intangíveis (WERNERFELT, 1984). Neste contexto, conforme Edu, Agoyi e Agozie (2020), a Internet das Coisas, Big Data e Cloud Computing são considerados recursos tecnológicos de uma organização, sendo caracterizadas como um conjunto de infraestrutura de tecnologia da inovação para promover os valores de negócios. Os autores reiteram que se uma empresa conseguir inserir recursos de infraestrutura digital e, atrelado a isto, desenvolver suas capacidades estratégicas com outros recursos, é possível obter grandes melhorias em seu processo de negócios, gerando mais valor agregado para sua organização.

### **2.2.1 Estágios da Internet das Coisas**

Ao se falar em modelo de maturidade no contexto das tecnologias digitais, o primeiro modelo que vem na mente dos estudiosos é o modelo da ACATECH. Apesar de ser um modelo completo e reconhecido mundialmente, o mesmo tem por objetivo identificar o nível de maturidade da Indústria 4.0 das empresas, englobando todas as tecnologias chaves da quarta revolução industrial. Como o presente estudo tem por objetivo analisar a tecnologia IoT, consideramos importante buscar por um modelo mais focado, com o intuito de conseguir mais riqueza de detalhes desta tecnologia digital.

Neste contexto, dois modelos foram encontrados na literatura, o Microsoft Services' IoT Maturity Model, que como o próprio nome diz, é um modelo desenvolvido pela Microsoft (2018), sendo mais voltado aos serviços oferecidos pela empresa, e Five Stages of IoT (Bsquare, 2016), que descreve os estágios de adoção de IoT nas companhias. Para esta pesquisa, optou-se pelo modelo da Bsquare, figura 5, por ser um modelo mais abrangente, não levando em consideração o serviço oferecido, mas sim os estágios de maturidade da tecnologia.

Figura 5- Os cinco estágios da Internet das Coisas



Fonte: Adaptado de Bsquare, 2016, p. 3

O modelo subdivide o nível da adoção da *Internet of Things* em cinco estágios:

- Conectividade de dispositivo e encaminhamento de dados: estágio inicial, onde os equipamentos são equipados com dispositivos inteligentes (sensores, atuadores), e os dados destes dispositivos são transmitidos para um local de armazenamento, para uso futuro. Neste estágio há uma capacidade de armazenamento limitada, onde apenas uma porcentagem dos dados produzidos são de fato coletados, não dispendo de análises para extrair valor do dispositivo;
- Monitoramento em tempo real: neste estágio, o monitoramento e a visualização dos dados ocorrem em tempo real, dispendo de um painel de visualização que oferece informações básicas e alertas simples (ex.: alerta quando um medidor de temperatura exceder o limite estabelecido). Nesta fase, os dados são chamados de "dados acionáveis", pois a ação deve ser tomada por seres humanos, que muitas vezes não pode ser realizada de forma eficiente, devido a enorme quantidade de informações brutas. Há uma alta incidência de falsos positivos, que são condições que indicam um problema no

- equipamento, mas quando o mesmo é inspecionado nada é encontrado, e também falsos negativos, onde condições de falhas não são sinalizadas corretamente, que ocorre pelo fato de soluções com lógicas básicas, não conseguem detectar condições e eventos complexos;
- c. Análise de dados: Nesta fase de adoção da tecnologia já é possível fornecer previsões e automatizações, assim como reduzir falsos positivos. A enorme quantidade de dados e seus diferentes tipos e formatos requer um sistema de análise de dados robusto, desta forma há diferentes elementos essenciais, como:
- Descoberta de Dados - onde são verificados e identificados os tipos de dados apropriados para fornecer o suporte requerido, e somente então, são aplicados os recursos para processamento e análise;
  - Aprendizado de Máquina - algoritmos são aplicados a um vasto conjunto de dados, identificando correlações e padrões;
  - Análise de Cluster - Grupos de equipamentos que se comportam de forma semelhante são identificados, possibilitando um melhor entendimento do ambiente no qual está inserido;
  - Modelo Digital - representação do comportamento do equipamento, possibilitando observar a quantidade de sensores necessários neste, e a interação com os sensores.
- d. Automatização – Nível onde a companhia já é capaz de realizar a integração com sistemas, como por exemplo ERP e WMS, dispondo de uma coleta de dados dinâmicas, por exemplo, quando o dispositivo está íntegro, uma menor quantidade de dados coletados e transmitidos são necessários, porém, quando as regras que monitoram a saúde do equipamento identificar que condições anômalas estão se aproximando, aumenta-se a quantidade de dados coletados. Neste estágio tem-se a possibilidade de realizar a predição de falhas e automatização de dispositivos;
- e. Aprimoramento da inteligência a bordo – último nível de maturidade da IoT, contando com computação de ponta, análise de ponta ou inteligência de ponta, tais termos descrevem o mesmo conceito: processamento de dados no equipamento, em que, em vez de mover os dados para uma plataforma e realizar as lógicas, a inteligência integrada traz a lógica para os dados, onde há recursos de computação disponíveis que permitem a automação dos dados diretamente no equipamento. Com este índice de adoção da tecnologia, é possível implementar análises e automação no equipamento, permitindo

maior precisão e agilidade. Em um cenário onde há capacidade limitada de transmissão e armazenamento, decisões são tomadas com apenas uma porcentagem dos dados. A inteligência *on-board* permite monitoramento e identificação de eventos em tempo real, assim como automatização de ações diretamente no equipamento.

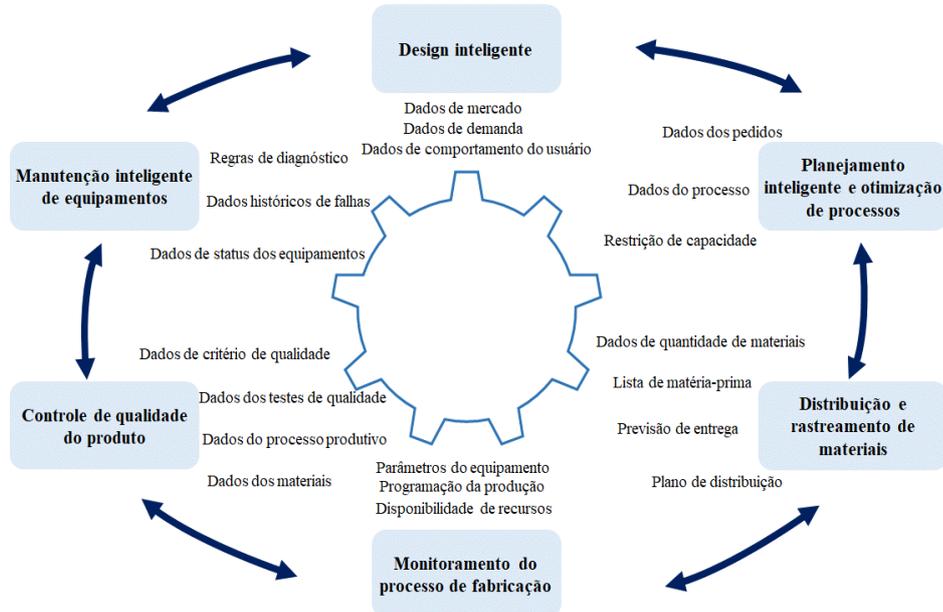
### 2.2.2 Categorias das Aplicações IoT

De acordo com Lee e Lee (2015), há três categorias de aplicações da *Internet of Things* para aumentar o valor do cliente: monitoramento e controle, *big data* e *business analytics* e compartilhamento de informação e colaboração. Obter um melhor entendimento destas três categorias podem proporcionar uma adoção bem-sucedida da IoT. As três categorias são descritas abaixo:

- a) Monitoramento e Controle: sistemas de controle e monitoramento possibilitam a coleta de dados sobre o desempenho dos equipamentos, consumo de energia e condições ambientais, permitindo o acompanhamento do sistema produtivo em tempo real, de qualquer lugar, a qualquer hora;
- b) *Big data* e *business analytics*: sensores e atuadores incorporados a dispositivos e máquinas geram grandes quantidade de dados, transmitindo estes para os sistemas, para que as partes interessadas possam analisar e tomar decisões. Tais dados são utilizados para descobrir e resolver problemas de negócios, como por exemplo as alterações nas condições de mercado ou no comportamento do cliente;
- c) Compartilhamento de informação e colaboração: Na IoT, o compartilhamento de informações e a colaboração pode ocorrer entre pessoas, entre objetos ou até mesmo entre pessoas e objetos. Geralmente, o primeiro passo para o compartilhamento de informação é a detecção de um evento predefinido. Pode-se tomar como exemplo a utilização de sensores em um ambiente refrigerado, caso haja um aumento ou diminuição de temperatura, alertas podem ser enviados ao gerente da loja.

Trazendo a discussão para ambiente da manufatura, Tao et al. 2018 discute as aplicações que podem ser implementadas no processo de fabricação a partir dos dados gerados pela IoT. São aplicações que permitem: design inteligente, planejamento inteligente, distribuição e rastreamento de materiais, monitoramento do processo de fabricação, controle de qualidade e manutenção e manutenção inteligente dos equipamentos. Estas aplicações podem ser observadas na figura 6.

Figura 6 - Aplicações da tecnologia IoT



Fonte: Autor adaptado de Tao et. Al., 2018, p. 9

Conforme Tao et al. (2018), cada aplicação possui devida notoriedade no processo da fabricação:

- **Design Inteligente:** o design possui grande relevância no processo, uma vez que a partir dele a maioria dos custos de fabricação do produto são determinados. O design do produto tem seu início nas pesquisas e análises de demanda, comportamento e preferencias dos clientes. O aproveitamento dos dados permite que os fabricantes melhorem sua capacidade em traduzir as vozes dos consumidores em recursos do produto e requisito de qualidade. Esta análise também permite a otimização do processo de design, assim como inovações de produto e desenvolvimento de produtos personalizados;
- **Planejamento inteligente e otimização de processos:** antes de dar início a fabricação de um produto é necessário realizar o planejamento da produção, para determinar a capacidade produtiva e disponibilidade de recursos, e a análise de dados como status dos recursos de fabricação, capacidades de produção, dados da cadeia de suprimentos e do inventario, podem facilitar o planejamento e a programação da produção. Além disso, a otimização do processo é um fator a ser considerado antes de iniciar a fabricação. Ao analisar os dados do processo, como por exemplo dados históricos, é possível fazer uma correlação entre diferentes parâmetros de produção e o rendimento, e desta forma, pode-se realizar ajustes nos processos em relação a tais

parâmetros, podendo resultar em melhoria de produtividade, além de redução de custos;

- Distribuição e rastreamento de materiais: no cenário ideal, a matéria prima correta deve ser disponibilizada no equipamento certo e na hora certa. Para que isto aconteça, é necessário ter dados de inventario e logística, pois a partir da análise destes, é possível determinar a distribuição de matéria prima em termos de tipo, quantidade e tempo de entrega, viabilizando uma logística de fabricação ideal. Com isto, o material pode ser enviado ao devido processo quando solicitado e de acordo com o ritmo de produção, evitando atrasos ou paradas desnecessárias. Além disto, a rastreabilidade de materiais permite que estes sejam rastreados em tempo real, durante todo o processo produtivo.
- Monitoramento do processo de fabricação: o processo produtivo depende de uma série de fatores, como equipamentos de fabricação, matéria prima e ambiente. Tais fatores podem afetar o processo, assim como a qualidade do produto, desta forma, é importante realizar o monitoramento das diferentes fases do processo de fabricação em tempo real. Com o monitoramento em tempo real, quando um fator estiver fora dos parâmetros pré-definidos, alertas e recomendações são enviados para que os operadores possam fazer os devidos ajustes, e desta forma, é possível obter maior uniformidade no processo;
- Controle de qualidade do produto: os sensores de IoT podem ser empregados para coletar dados de qualidade do produto, como parâmetros geométricos (por exemplo, comprimento, espessura, rugosidade da superfície), parâmetros de tolerância, parâmetros de usinagem, dentre outros. Com isto, é possível monitorar a qualidade geral do produto, assim como emitir alertas de defeitos e obter um diagnóstico rápido da causa-raiz (KÖKSAL; BATMAZ; TESTIK, 2011). Além de identificar produtos com falha, é possível também verificar os fatores que estão causando defeitos e eliminá-los ou controlá-los.;
- Manutenção inteligente de equipamentos: combinando os dados dos sensores de status dos equipamentos com os registros históricos é possível prever a deterioração da capacidade do equipamento, a vida útil dos componentes e a causa das falhas (JI; WANG, 2017).

Georgakopoulos et al. (2016) adiciona que as aplicações da IoT podem trazer oportunidades de melhoria na produtividade, qualidade e segurança nas fábricas. A primeira

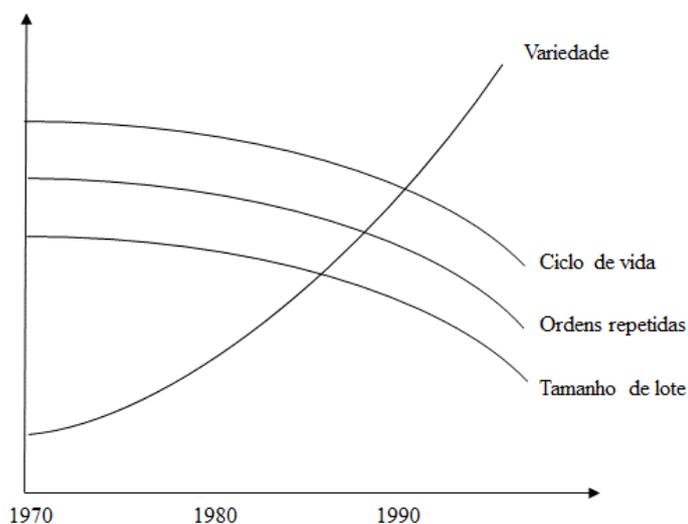
oportunidade diz respeito ao monitoramento em tempo real dos KPIs de produção e a análise e melhoria dos processos produtivos a partir dos KPIs. A segunda oportunidade é o gerenciamento inteligente de inventário, que inclui *tags* eletrônicos aos produtos, possibilitando o acompanhamento e identificação destes, enquanto estão no estoque, no processo produtivo ou até mesmo quando vão para o consumidor. O gerenciamento inteligente de inventário também oportuniza a otimização das operações de estoque, permitindo a redução de custo e tempo de mão de obra. Por fim, a terceira oportunidade é a automação de tarefas complexas, com o objetivo de avaliar a qualidade do produto através de sistemas de câmeras especiais. A tecnologia IoT pode também tornar o treinamento dos funcionários mais eficientes, monitorando e orientando eletronicamente estes enquanto trabalham nos processos produtivos.

### 2.3 AGILE MANUFACTURING

A *Agile Manufacturing* é o desenvolvimento natural do conceito original de *Lean Manufacturing*. A manufatura enxuta possui foco na redução de custos, enquanto que as exigências do mercado por empresas mais flexíveis e responsivas trouxe a necessidade de uma diferenciação na organização enxuta, através do conceito de agilidade (GUNASEKARAN, 1999). De acordo com Gunasekaran (1999, p. 87), “manufatura ágil pode ser definida como a capacidade de sobreviver e prosperar em um ambiente competitivo, de mudanças contínuas e imprevisíveis, reagindo de maneira rápida e eficaz a mercados em mudança, impulsionados por produtos e serviços projetados pelo cliente”. Vazquez-Bustelo e Avella (2006) acrescentam que a Manufatura Ágil pode ser conceituada como um modelo de produção capaz de integrar tecnologia, recursos humanos e organização por meio de uma infraestrutura de informação e comunicação, provendo as empresas maior flexibilidade, velocidade, qualidade e eficiência, além de colaborar para que estas reajam de forma mais eficaz e coordenada as mudanças do ambiente.

Por um grande período de tempo, o preço foi considerado um dos únicos e mais importantes aspectos de competitividade, porém durante os anos 1970 e 1980 outros fatores, como qualidade, desempenho de entrega, variedade de produtos, dentre outros, tornaram-se tão importante para manter-se na concorrência quanto o preço. A necessidade de ofertar produtos de melhor qualidade e mais opções de escolha (variedade), aumentaram a demanda de produtos customizados, resultando na necessidade de buscar inovações tecnológicas no processo produtivo e nos produtos (KIDD, 1994, p. 13). Esta tendência de mercado pode ser observada na figura 7:

Figura 7 - Tendências de mercado



Fonte: Autor adaptado Kidd, 1994, p. 13

A figura 7 ilustra que a tendência do mercado está voltada a uma maior customização de produtos, gerando maior variedade, o que reduz o tamanho dos lotes e a quantidade de ordens repetidas, resultando em um menor ciclo de vida do produto, uma vez que as companhias buscam manter seu portfólio de produtos atualizados. (KIDD, 1994, p. 14).

Dubey e Gunasekaran (2014) acrescentam que a dinâmica dos negócios tem passado por constantes mudanças nas últimas décadas, devido a rápida mudança na tecnologia, alterações nas condições de mercado, mudança nas exigências dos clientes e transformação da competição de mercado local para mercado global, devido a globalização. Com isto, fez-se necessário remodelar os paradigmas de produção, onde o sistema de produção em massa tem sido substituído pela fabricação flexível e ágil. De acordo com Gunasekaran (1999, p. 87) “a agilidade aborda novas formas de administrar empresas para enfrentar estes desafios”.

A agilidade, como um conceito de manufatura, foi primeiramente tratada por um grupo de pesquisadores do Iacocca Institute, em 1991, ao realizar um estudo para analisar como os Estados Unidos poderiam reconquistar seu destaque na manufatura (YUSUF; SARHADI; GUNASEKARAN,1999).

Conforme Gunasekaran e Yusuf (2002), agilidade na manufatura pode ser definida como a capacidade de uma organização (i) atender as alterações dos requisitos de mercado, (ii) potencializar o nível de serviço ao cliente e (iii) reduzir o custo dos produtos, com o propósito de obter competitividade em um mercado global e ampliar suas chances de sobrevivência e potencial de lucratividade. Tudo isso deve ser apoiado por pessoas, processos e tecnologias flexíveis.

Um fabricante ágil pode ser conhecido como uma organização com uma visão ampla da nova composição e estruturação do mundo dos negócios, munido com um conjunto de recursos e capacidades para enfrentar as turbulências e conseguir tirar vantagens das mudanças de circunstâncias. A questão chave está em como uma empresa manufatureira pode adquirir as habilidades necessárias para se tornar ágil (ZHANG; SHARIFI, 2000).

De acordo com Sharifi e Zhang (2001), a agilidade pode ser alcançada em uma empresa de manufatura através da adoção de práticas apropriadas que forneçam as competências necessárias para que esta possa responder de forma adequada as alterações no ambiente de negócios. As técnicas de fabricação desenvolvidas e utilizadas no passado devem ser cuidadosamente selecionadas e combinadas com as práticas recém-introduzidas na era emergente da manufatura ágil, de forma a desenvolver capacidades para responder as exigências do mercado.

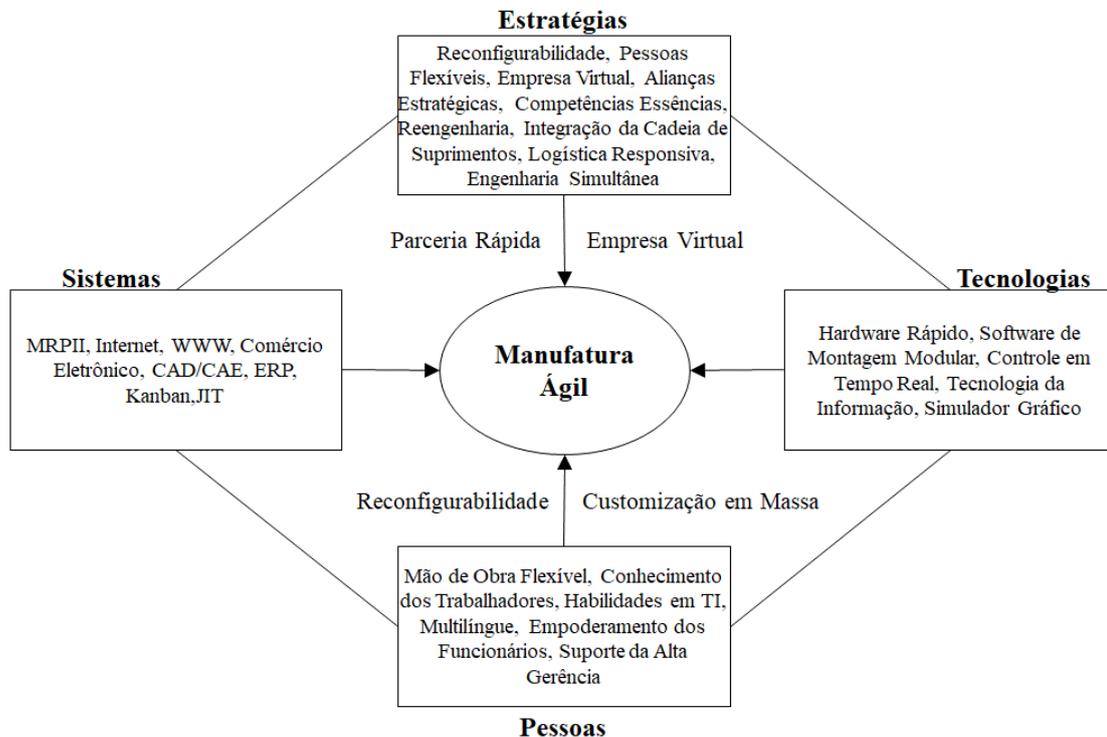
Há uma gama de estudos acerca da manufatura ágil, apresentando diferentes perspectivas sobre esta prática, para um melhor entendimento do tema, o estudo abordará o conceito subdividindo a manufatura ágil em três pilares: *drivers*, atributos (*enablers*) e objetivos de desempenho.

Os *drivers*, também conhecidos como impulsionadores ou direcionadores, são as condições de mercados que requerem ou facilitam a implantação de determinado paradigma (GODINHO FILHO; FERNANDES, 2006). Conforme Yusuf, Sarhadi e Gunasekaran (1999), a principal força motriz que move a agilidade é a mudança, e o ambiente de negócios sendo fonte de mudanças constantes, turbulência e incertezas é considerado o principal motivador da manufatura ágil (VAZQUEZ-BUSTELO; AVELLA, 2006). Dubey and Gunasekaran (2014) explicam que há quatro fontes de turbulências no mercado: concorrência global, novas tecnologias, soluções personalizadas e a inserção de novos produtos, já Zhang e Sharifi (2000), classificam como direcionadores as pressões do mercado, a competitividade, as solicitações do cliente, novas tecnologias e fatores sociais.

De acordo Ren, Yusuf e Burns (2003), as empresas ágeis podem ser caracterizadas por atributos, também chamados de facilitadores (*enablers*) ou capacitadores, que permitem estas alcançarem recursos ágeis e responderem as alterações no ambiente de negócios. Conforme o conceito de agilidade proposto pelo Instituto Iacocca (1991), os atributos ágeis foram originalmente desenvolvidos como conceitos centrais da manufatura ágil. Tais atributos têm sido extensamente pesquisados. Kidd (1994) propõe que a agilidade por ser obtida através da integração das organizações, pessoas qualificadas e capazes e tecnologias avançadas.

Gunasekaran (1999) propõe quatro pilares facilitadores da manufatura ágil: tecnologias, estratégias, sistemas e pessoas, conforme ilustrado na figura 8:

Figura 8 - Os pilares da Manufatura Ágil



Fonte: Autor adaptado Gunasekaran, 1999, p. 100

Cada facilitador é detalhado abaixo:

- a) **Estratégias**: este facilitador refere-se as abordagens estratégicas necessárias para obter melhorias de desempenho, onde as principais estratégias da manufatura ágil são:
- *Virtual Enterprise* (VE): é uma aliança temporária entre companhias, que se unem com o intuito de aproveitar uma oportunidade do mercado, onde cada empresa membro compartilham suas principais competências (PRESLEY et al., 2001). O ambiente de manufatura virtual gera muitos benefícios, como melhorias no design do produto e do processo, melhor capacidade de resposta, menores riscos de fabricação, suporte nas alterações do sistema de manufatura e melhorias no serviço e reparo do produto (WEBSTER; SUGDEN, 2003; GUISSINGER; GHORASHI, 2004; LAU et al., 2003). Geralmente as empresas utilizam a VE para fabricar um produto específico durante um determinado período de tempo, e

posteriormente, à medida que as empresas seguem em frente, as alianças são dissolvidas (SARKIS; TALLURI; GUNASEKARAN, 2007);

- Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*): Uma cadeia de suprimentos é constituída por companhias interdependentes, que se conectam e trabalham de maneira cooperativa, com o objetivo de gerenciar, controlar e melhorar o fluxo de materiais e informações (AITKEN, 1999 apud HASAN 2009). Em um ambiente ágil, a pratica de tal estratégia possibilita aos parceiros da cadeia de suprimentos mover-se ainda mais rapidamente e obter melhorias na utilização dos equipamentos e instalações (ROY et al., 2004);
- Engenharia Simultânea (*Concurrent Engineering*): Para alcançar agilidade na fabricação é necessário realizar alterações acerca da formação das equipes de desenvolvimento de produto. Tais mudanças também incluem políticas que dificultam alterações no projeto e proporcionam mais autoridade e responsabilidade aos membros da equipe de projetos. Para realização do gerenciamento de mudanças em um ambiente de manufatura faz-se necessário um método mais sistemático para projetar o produto e os processos produtivos de forma simultânea. Este método sistemático é chamado de *Concurrent Engineering* (CE). Possuir um ambiente de trabalho com uma equipe multidisciplinar pode facilitar a estratégia da CE (GUNASEKARAN, 1999). A manufatura ágil requer alta capacidade de acelerar as tarefas ao longo de um caminho crítico, e a CE pode gerar reduções significativas no tempo de desenvolvimento do produto devido ao progresso simultâneo do projeto, prototipagem e desenvolvimentos de processos (BOYLE; KUMAR; KUMAR, 2006).

**b) Tecnologia:** Em um ambiente em que a manufatura está globalizada, a tecnologia da informação desempenha um papel de suma importância na integração de empresas de manufatura distribuídas fisicamente. Os requisitos tecnológicos ágeis são subdivididos em:

- *Hardware* - ferramentas e equipamentos: A Manufatura Ágil requer uma rápida troca de montagem de produtos diferentes, o que por consequência requer uma rápida troca de hardware por robôs e alimentadores de peças. A troca rápida de *software* poderá ser facilitada em um ambiente que haja *software* orientado a objetos em tempo real, empregando simulações gráficas para desenvolver *softwares online*. Estes recursos tecnológicos permitem a introdução de novos

produtos ao processo produtivo com mínimo tempo de inatividade e poucas reconfigurações no sistema;

- Tecnologia da informação: A utilização de tecnologias da informação pode ser empregada como forma de obter uma integração entre as empresas distribuídas fisicamente, tecnologias como Internet, CAD/CAM, ERP e MRP proporcionam uma resposta rápida, minimização de erros humanos e eliminação de atividades que não agreguem valor.

**c) Sistemas:** Em um ambiente de manufatura ágil, os sistemas e *software* contemplados devem fornecer suporte a tomadas de decisões para as operações de planejamento e controle:

- Design de sistemas: Para obter uma fabricação ágil se faz necessário sistemas de projetos de produtos ágeis, que possibilite a modificação para novos produtos de forma rápida. Alcançar esta agilidade requer que o sistema agrupe diversos recursos e produtos, de forma a reduzir atividades que não geram valor agregado, assim como o tempo de lançamento dos produtos, para que estes estejam disponíveis no mercado no momento certo;
- Planejamento da produção e sistemas de controle (PPC): Os tradicionais sistemas de controle e gerenciamento de produção, assim como seus métodos e teorias não são capazes de suprir as necessidades de planejamento e controle de produção para empresas virtuais, em um ambiente de manufatura ágil, os aspectos para PPC a serem considerados são: Modelagem do desenvolvimento e produção dos produtos de maneira simultânea; Monitoramento e controle da produção em tempo real; Estrutura de controle flexível ou dinâmica, de modo a lidar com as incertezas de mercado; Estrutura da programação de produção que ajuste as necessidades do mercado; Modelagem dos estados de produção e do sistema de controle; Arquitetura de referência para uma empresa virtual;
- Integração dos sistemas e gerenciamento de bases: Um ambiente ágil requer um sistema de informações corporativas com alta capacidade de reconfiguração em um curto período de tempo, e que possibilite a junção com partes de sistemas de informação de outras empresas. Pant, Rattner e Hsu (1994) realçam o papel da integração de sistemas e do gerenciamento de dados na *Agile Manufacturing*, ressaltando que os fluxos de informação devem ser analisados minuciosamente, de forma a integrar sistemas de informações que possuam fluxos comuns.

**d) Pessoas:** Ao desenvolver um AMS (*Agile Manufacturing System*) não se deve levar em consideração apenas as tecnologias e sistemas empregados, mas também a seleção dos trabalhadores, o desenvolvimento de suas habilidades e capacidades, o ambiente de trabalho e a manutenção dos equipamentos. Em um ambiente ágil, os aspectos de fatores humanos a ser considerados são:

- Conhecimento dos trabalhadores: Alcançar a fabricação ágil requer uma força de trabalho que se adapte a diferentes papéis e responsabilidades em um ambiente de mudanças constantes e imprevisíveis. É importante que o trabalhador não esteja apenas familiarizado com o portfólio de produtos da empresa, como também com a atmosfera de parceria entre as companhias (HASAN, 2009);
- Suporte da alta gerência e capacitação dos funcionários: Obter agilidade no ambiente de fabricação requer modificações no processo de negócios, e para alcançar este nível de mudança, é necessário o apoio da alta administração, tanto em termos de suporte técnico como financeiro, juntamente com a capacitação dos trabalhadores;
- Treinamento e educação: Os fatores humanos desempenham um papel de suma importância no processo para uma implementação bem-sucedida da manufatura ágil, e desta forma, as empresas ágeis se comprometem com o treinamento e educação de seus trabalhadores, uma vez que colaboradores treinados e instruídos podem solucionar os problemas com mais facilidade, e até mesmo prevenir estes, contribuindo para uma maior agilidade.

Conforme apresentado por Gunasekaran (1999), e também por outros estudos, como Zhang e Sharifi (2000) e Yusuf, Sarhadi, Gunasekaran (1999), a tecnologia é considerada um dos pilares bases para auxiliar na agilidade das empresas.

De acordo com Godinho Filho (2004), a manufatura ágil tem como objetivo ganhador de pedidos a agilidade. A agilidade pode ser constituída por quatro objetivos de desempenho: adaptabilidade (habilidade de introdução de novos produtos satisfazendo as necessidades dos clientes ao longo do tempo); “ciberneticidade” (alto nível de utilização das tecnologias de informação); flexibilidade de longo prazo e flexibilidade de curto prazo (GODINHO FILHO; FERNANDES, 2006). Os autores acrescentam que outros objetivos de desempenho da produção são: velocidade, pontualidade, produtividade e qualidade. Vázquez-Bustelo, Avella e Fernández (2007) acrescentam que as práticas de manufatura ágil podem gerar um melhor desenvolvimento em objetivos de fabricação como custo, qualidade, flexibilidade, entrega e

serviço. Outros desempenhos esperados são: capacidade de personalização de produtos e serviços, redução dos custos de fabricação, satisfação do cliente e remoção de atividades sem valor agregado (BOTTANI, 2009).

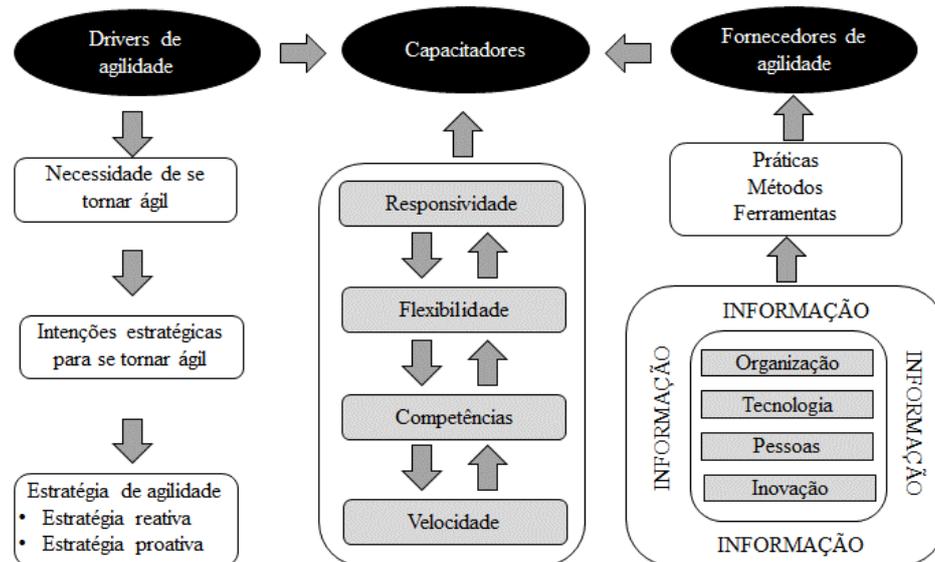
### 2.3.1 Modelos Conceituais da Manufatura Ágil e IoT

Diferentes modelos conceituais foram propostos para auxiliar as companhias a alcançar um ambiente ágil. Este tópico apresenta alguns destes modelos.

Sharifi e Zhang (1999) propuseram uma metodologia com o intuito de ajudar as empresas de manufatura a desenvolver políticas estratégicas para obter um ambiente de manufatura ágil. Zhang e Sharifi (2000) aprimoraram o modelo, inserindo o campo “informação”, na coluna de fornecedores de agilidade, realçando a importância da tecnologia da informação para o alcance da agilidade. A metodologia, apresentada na figura 9, consiste em três estágios:

- a. *Drivers* de agilidade: são as pressões e mudanças que o mercado impõe sobre as empresas, fazendo com que estas busquem novas maneiras para administrar seus negócios e manter sua vantagem competitiva;
- b. Capacidades: são os recursos primordiais que a empresa precisa para poder responder de forma positiva as mudanças, assim como tirar proveito destas;
- c. Fornecedores de agilidade: são os meios pelos quais as capacidades podem ser obtidas. Tais provedores devem ser buscados em quatro principais áreas do ambiente de fabricação: organização, pessoas, tecnologia e inovação, e estes devem ser totalmente integrados com os sistemas de suporte a informação e tecnologia.

Figura 9 – Modelo conceitual da agilidade



Fonte: Autor adaptado de Sharifi e Zhang, 1999, p. 11 e Zhang e Sharifi, 2000, p. 498

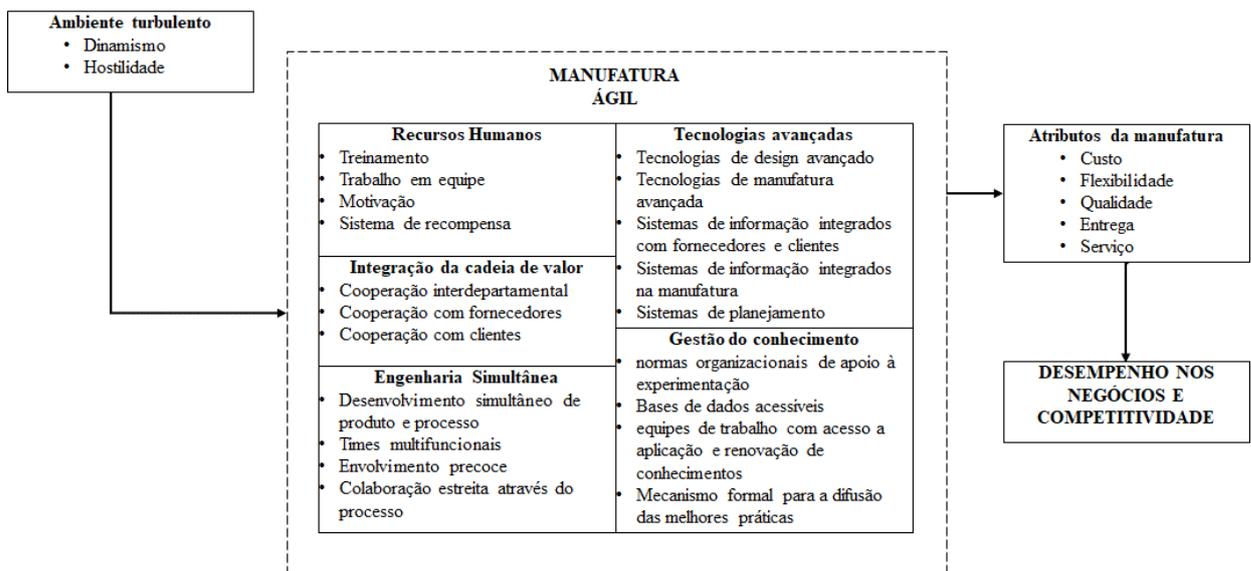
Conforme os autores, os capacitadores são divididos em quatro categorias:

- a. Responsividade: capacidade de identificar e responder rapidamente as mudanças, assim como recuperar-se destas. Tal recurso é descrito como:
  - Sentir, perceber e antecipar as mudanças;
  - Reação imediata as alterações;
  - Recuperar-se das transições.
- b. Competência: são as habilidades que oportunizam a empresa produtividade, eficiência e eficácia no cumprimento de seus objetivos. Tais habilidades são:
  - Tecnologia apropriada ou capacidade tecnológica;
  - Qualidade dos produtos e serviços;
  - Relação custo-benefício
  - Alta taxa de introdução de novos produtos ou serviços;
  - Pessoas capacitadas;
  - Cooperação interna e externa;
  - Integração.
- c. Flexibilidade: capacidade de executar diversos trabalhos e obter objetivos diferentes nos mesmos locais. Os itens que constituem este recurso são:
  - Flexibilidade de volume;
  - Flexibilidade de modelo e configuração;
  - Flexibilidade das questões organizacionais;
  - Flexibilidade das pessoas.

- d. Velocidade: capacidade de executar tarefas no menor tempo possível. Os itens deste recurso incluem:
- Rapidez no lançamento de novos produtos;
  - Rapidez e pontualidade na entrega de produtos ou serviços;
  - Rapidez nas operações.

Vazquez-Bustelo e Avella (2006) também propuseram um modelo conceitual para a implementação da manufatura ágil, no modelo proposto, os autores descrevem as relações entre o ambiente de negócios, o sistema ágil de fabricação, os atributos da manufatura e o desempenho da empresa, conforme ilustrado na figura 10:

Figura 10 - Modelo Conceitual para Implementação da Manufatura Ágil



Fonte: Autor adaptado de Vazquez-Bustelo e Avella, 2006, p. 1159

Os principais elementos do modelo apresentado são:

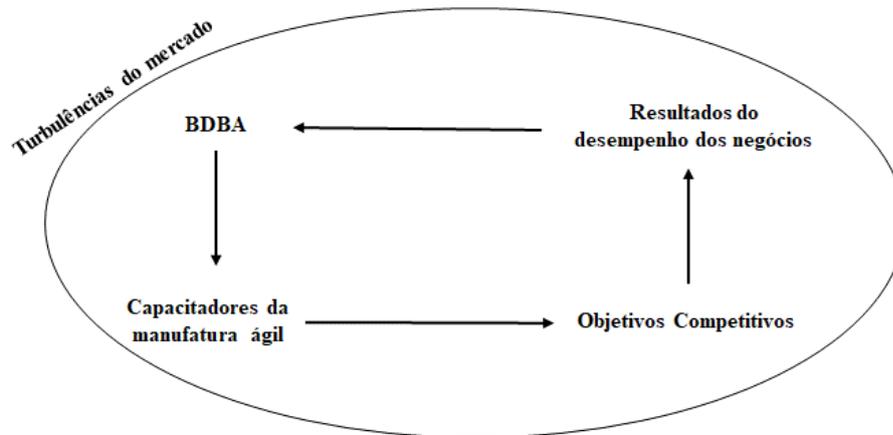
- a) Ambiente: o ambiente tem sido considerado um fator importante não apenas para o desempenho operacional, mas também para a elaboração das estratégias. Levar em consideração tais fatores na estratégia de fabricação é de suma importância para a adaptação entre o ambiente e os recursos e capacidade da organização. Pesquisas empíricas apontam que as companhias de sucesso são as que conseguem se adaptar mais rapidamente ao ambiente, o que corrobora que os resultados estão relacionados a capacidade de adaptação ao ambiente das empresas. O ambiente considerado mais crítico para a sobrevivência organizacional é o turbulento, e resistir

neste meio requer altos níveis de agilidade, para que possam se adaptar efetivamente a mercados populosos e competitivos e a mudanças imprevisíveis. O ambiente de negócios é considerado o principal motivador da manufatura ágil, por ser um gerador de incertezas e fonte de mudanças constantes.

- b) Sistema de Manufatura Ágil: o conceito de agilidade refere-se à capacidade das organizações em conectar de forma eficaz tecnologia, gerenciamentos e funcionários através de uma infraestrutura de comunicação e informação, provendo respostas mais eficazes e coordenadas as demandas de ambientes imprevisíveis e instáveis (Amos, 1996). Neste contexto, a manufatura ágil é descrita como a integração entre uma abordagem flexível de cooperação entre empresas e o desenvolvimento de habilidades dos funcionários e gerência baseado nas novas tecnologias, assim como uma boa integração entre os recursos humanos, tecnologias e sistemas de informação, integração da cadeia de suprimentos, gerenciamento do aprendizado e do conhecimento e desenvolvimento de novos produtos e processos, possibilitando uma organização altamente adaptada, competitiva e inovadora.
- c) Resultados da Manufatura Ágil: a prática da manufatura ágil não se restringe a melhores níveis de flexibilidade, além deste aspecto, ser um fabricante ágil implica em oferecer produtos de alta qualidade, baixo custo, com melhores níveis de serviço e condições de entrega.

Um terceiro *framework* é proposto por Gunasekaran et. al. (2017), onde o autor analisa o papel do *Big Data*, o que ele chama de BDBA (*Big Data and Business Analytics*) nas práticas de manufatura ágil. Na estrutura, ilustrada na figura 11, o autor apresenta as relações esperadas entre a turbulência de mercado, capacitadores da manufatura ágil, objetivo competitivos e resultados no desempenho dos negócios.

Figura 11 - Framework da Manufatura Ágil



Fonte: Autor adaptado de Gunasekaran et. al., 2017, p. 387

Conforme Dubey and Gunasekaran (2014), há quatro diferentes fontes de turbulência no mercado: concorrência global, novas tecnologias, soluções personalizadas e a introdução de novos produtos. Tais fontes de turbulência são consideradas como a força motriz da fabricação ágil, e o BDBA pode ser considerado um facilitador para alcançar as práticas de manufatura ágil.

O papel do *Big Data and Business Analytics* no ambiente de negócios decorre a partir dos três elementos do Big Data: volume, velocidade e variedade. Os dados possuem um poder preditivo por meio da análise de negócios, onde através de análises estatísticas é possível prever eventos futuros baseando-se nas ocorrências do passado. Conforme citado anteriormente por Brous, Janssen e Herder (2020), tais dados são gerados com a aplicação da tecnologia IoT. Tais táticas podem ajudar a obter os capacitadores, ferramentas e competências da manufatura ágil, para defender seus objetivos competitivos e conseguir melhor desempenho contra a influência perturbadora da turbulência do mercado.

A partir dos três modelos conceituais de manufatura ágil detalhados, pode-se observar que todos possuem a tecnologia como um meio de alcançar a agilidade. Conforme Gunasekaran et al. (2018), muitas empresas têm utilizado as tecnologias digitais como uma alternativa para manter-se competitivo no mercado, uma vez que estas possibilitam aumentar a capacidade do processo produtivo para uma customização rápida e entrega de soluções avançadas de produtos. Gunasekaran et al. (2017) reiteram que as tecnologias e o compartilhamento de informações são cruciais para a obtenção de um sistema de manufatura ágil. Conforme os autores, a Internet das Coisas permite que as indústrias tenham um sistema de informações integrado, oferecendo suporte as operações e fornecendo visibilidade da cadeia de suprimentos, o que permite maior

flexibilidade e velocidade de resposta as solicitações do mercado e consumidor. Rasouli (2019) adiciona que os sistemas de informações com reconhecimento de processo, como a IoT, podem promover os níveis de flexibilidade e agilidade.

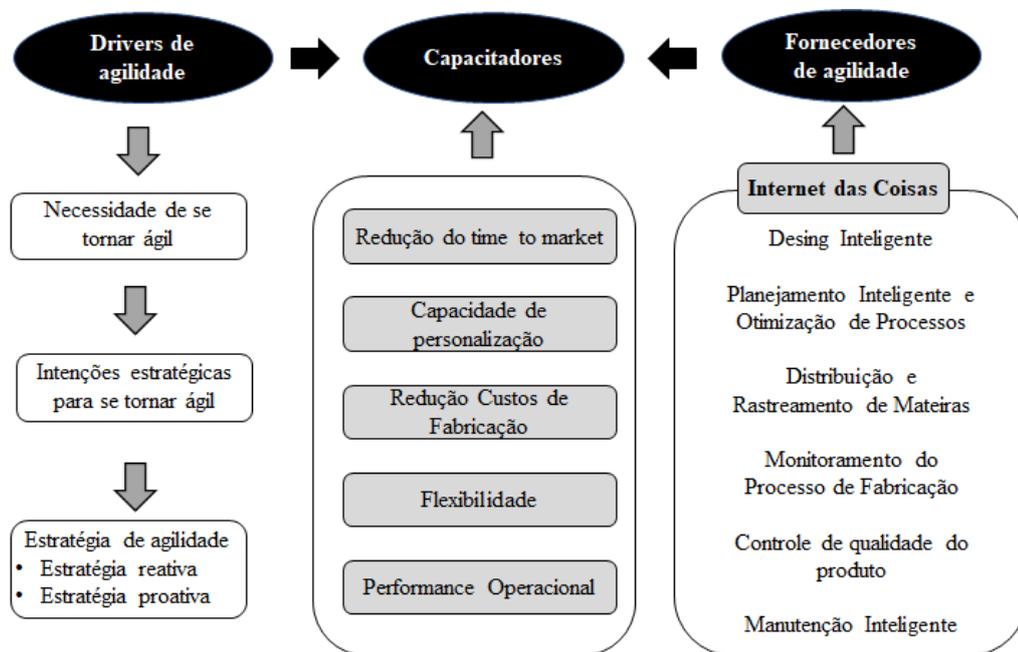
Os dados e informações gerados pela tecnologia IoT são utilizados para gerar conhecimentos, sendo empregados para o monitoramento e controle das operações. As companhias com capacidade de aproveitamento destes dados (recursos de processamento de dados e informações) podem alcançar vantagens competitivas, uma vez que suas operações de negócios se tornam mais ágeis e conectadas (CHRISTOPHER, 2000; HEISTERBERG; VERMA, 2014; LOU et al., 2011). De acordo com Akhtara et al. (2017), a utilização desta tecnologia possui papel fundamental na criação de dados que estão associados aos recursos das companhias, munindo está de informações acerca da agilidade operacional e tomadas de decisões. Os impactos gerados pelo IoT são imensuráveis, devido a quantidade de aplicações diferentes possíveis com os dados capturados, e também porque os dispositivos conectados fornecem informações não apenas de operações internas, como também de externas.

A condução do presente estudo terá como base o modelo conceitual de agilidade proposto por Sharifi e Zhang (1999) e posteriormente aprimorado por Zhang e Sharifi (2001). Este modelo foi escolhido como base para o modelo de pesquisa por contemplar os três pilares da *Agile Manufacturing*, e apresentar, de forma intrínseca a *Internet of Things*, por meio da integração dos dados, onde dois anos após a primeira publicação, os autores desenvolvem mais o modelo, colocando em ênfase a integração da informação como um fornecedor de agilidade, e tal disponibilidade de informação é o objeto desta pesquisa. Outro aspecto que levou a escolha deste modelo foi seu fator de impacto, onde as publicações possuem um elevado número de citações, totalizando 460 (base Web of Science), também foram publicados em *Journals* com elevados fatores de impacto, com 5,134 e 4,619 respectivamente, além de ter sido referência para outros modelos, como por exemplo, Vazquez-Bustelo e Avella (2006).

O modelo proposto, vide figura 12, contempla três blocos funcionais: *drivers* de agilidade, capacitadores e fornecedores de agilidade, conforme colocado pelos autores. O primeiro bloco, conforme elucidado anteriormente, diz respeito às pressões e mudanças impostas ao ambiente, gerando uma necessidade da empresa em buscar a agilidade. O segundo bloco, contemplando os capacitadores, refere-se as aptidões essenciais necessárias a uma empresa que busca um ambiente ágil. As capacidades listadas aqui, segue não apenas aquelas citadas por Sharifi e Zhang (1999), mas também por Vazquez-Bustelo e Avella (2006) e Gunasekaran et. al. (2017), uma vez que, conforme os autores, a agilidade não se restringe a melhores níveis de flexibilidade, mas também a qualidade, custos de fabricação e capacidade

de personalização. O terceiro e último bloco, fornecedores de agilidade, são os meios pelos quais as capacidades podem ser obtidas. O modelo base lista quatro fornecedores de agilidade, onde um deles é a tecnologia, e como a tecnologia, mais especificamente a Internet das Coisas, é um dos direcionadores do estudo, este bloco será direcionado apenas a este fornecedor de agilidade. Este bloco será integrado pelas categorias de aplicações IoT descritas por Tao et al. 2018. A opção por considerar as aplicações IoT apresentadas por Tao et al. 2018 foi feita levando-se em consideração que estas abrangem as diversas áreas do sistema manufatureiro, já abrangendo as aplicações listadas por Lee e Lee (2015).

Figura 12 - Modelo de Pesquisa



Fonte: Autor, 2020

Conforme modelo proposto, o estudo buscará obter um melhor entendimento de como as empresas estão empregando a tecnologia IoT, quais aplicações estão sendo realizadas, como estas aplicações estão auxiliando na obtenção de um ambiente ágil e como estas estão integrando a Internet das Coisas e os conceitos de Manufatura Ágil.

### 3 METODOLOGIA

O estudo científico inicia-se a partir de uma inquietação, de um tema que chama a atenção do pesquisador, estimulando este a realizar um estudo mais aprofundado, porém, antes de dar início a pesquisa é preciso analisar se o resultado irá agregar valor à comunidade acadêmica, e também realizar levantamentos afim de verificar as publicações a respeito do tema ou até mesmo se alguém já escreveu sobre o assunto, para posteriormente realizar a elaboração do modelo, e tudo isto faz parte do que chamamos de revisão sistemática da literatura (MIGUEL et al., 2012, p. 38).

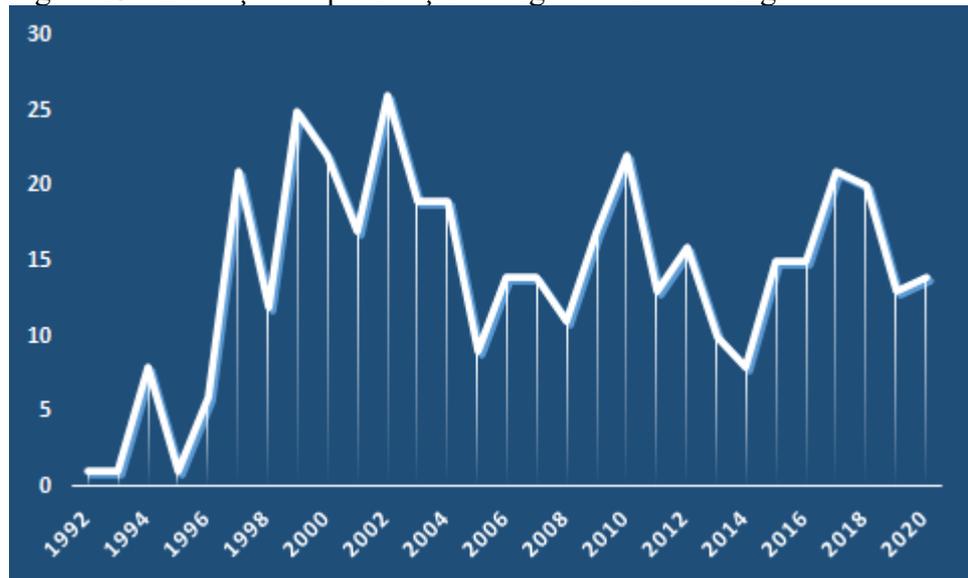
#### 3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A construção do referencial teórico inicia-se com uma varredura horizontal, onde são levantadas as primeiras ideias sobre o tema, conhecido como inquietação. Posteriormente é realizado a varredura vertical, onde com o objetivo definido, é feito um levantamento dos conceitos já desenvolvidos (MIGUEL et al., 2012, p. 39).

O levantamento dos conceitos e modelos já desenvolvidos foi feito com o auxílio da base de dados Web of Science. A varredura vertical iniciou-se com uma pesquisa das palavras chaves “Internet of Things” e “Agile Manufacturing”, resultado em quatro publicações, e através de uma leitura dos resumos, observou-se que nenhum deles tratava os temas de forma conjunta, o mais próximo deles relacionava Indústria 4.0 e o conceito de manufatura ágil, porém com foco nas arquiteturas da Indústria 4.0, com isto, pode-se considerar que uma pesquisa correlacionando os dois assuntos seria de grande valia para a literatura científica.

A próxima varredura realizada foi utilizando a palavra chave “Agile Manufacturing”, resultando em um total de 411 artigos. Analisando a quantidade de publicações por ano, entre os anos de 1997 (primeiro pico) e 2020, há uma média de 16 artigos por ano, conforme ilustrado na figura 13:

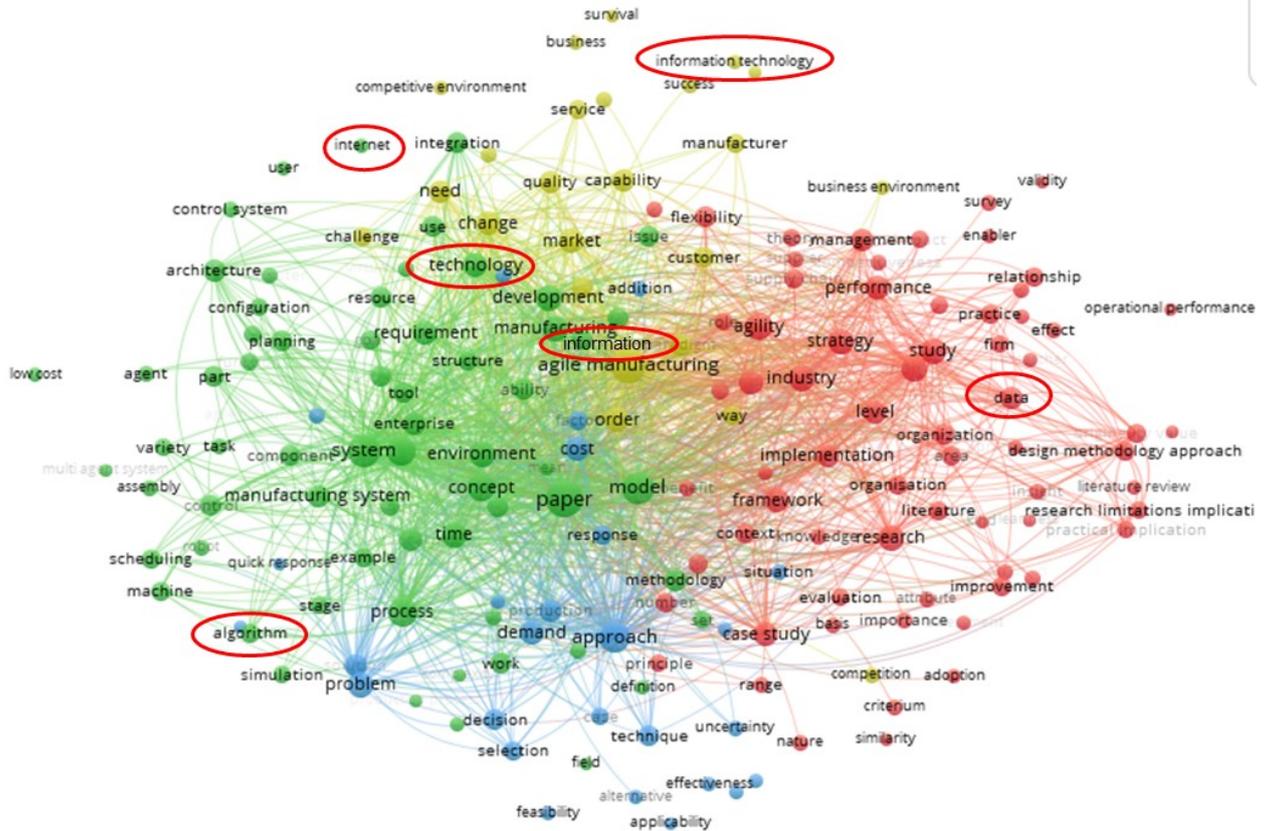
Figura 13 - Evolução de publicações - Agile Manufacturing



Fonte: Autor, 2020

Com o auxílio do software VOSviewer, foi realizado uma análise da incidência de palavras nos títulos e resumos, na figura 14 é apresentada a rede de ocorrência de palavras que foram citadas ao menos 10 vezes, podendo-se observar existência de palavras chaves para o estudo, como dados, tecnologia, internet e tecnologia da informação.

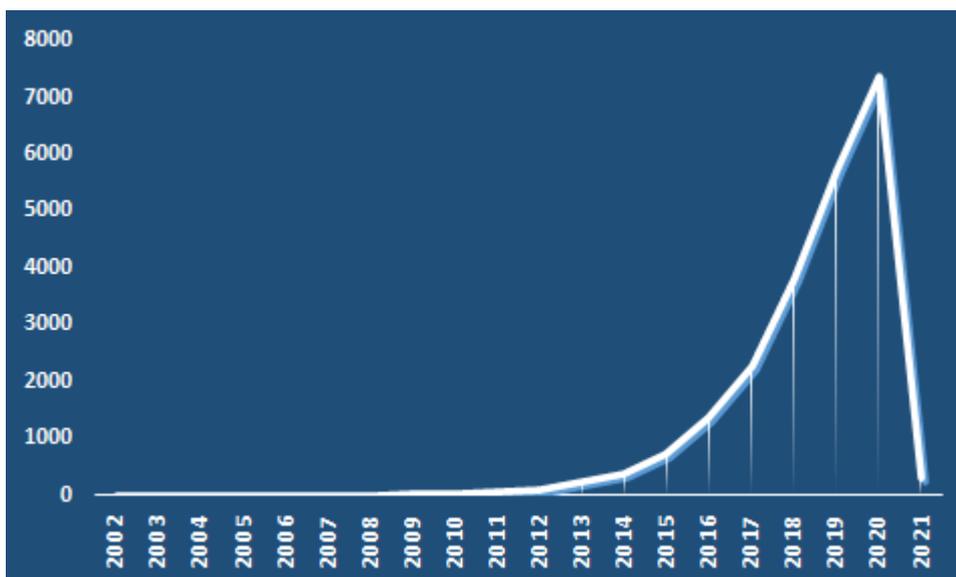
Figura 14 - Rede de ocorrência de palavras – Agile Manufacturing



Fonte: Autor, 2020

Posteriormente, a mesma varredura foi realizada com a palavra chave “Internet of Things”, chegando a um total de 22.382 publicações entre 2002 e 2021, conforme ilustrado na figura 15 pode-se observar uma grande ascendência na curva de publicações nos últimos 5 anos, apresentando um pico em 2020 com 7.360 artigos, mostrando ser um tema recente e que vem sendo extensamente pesquisado.

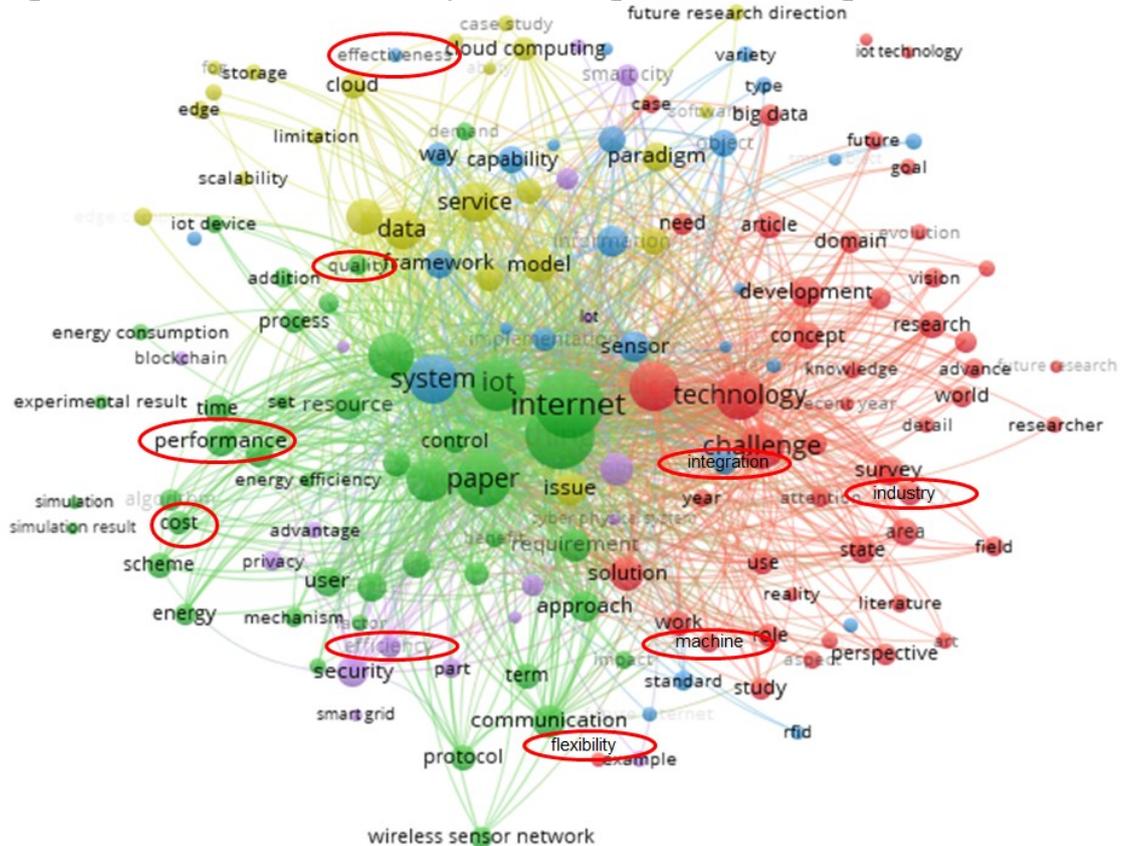
Figura 15 - Evolução de publicações - Internet of Things



Fonte: Autor, 2020

No que se refere a rede de ocorrência de palavras chave, como é possível exportar informações de apenas 500 títulos e resumos para posterior análise no VOSviewer, foi considerado os 500 artigos mais citados. A imagem 16 ilustra a rede de ocorrência de palavras que tiveram ao menos 15 incidências, contemplando palavras que possuem uma relação direta com o conceito de manufatura ágil.

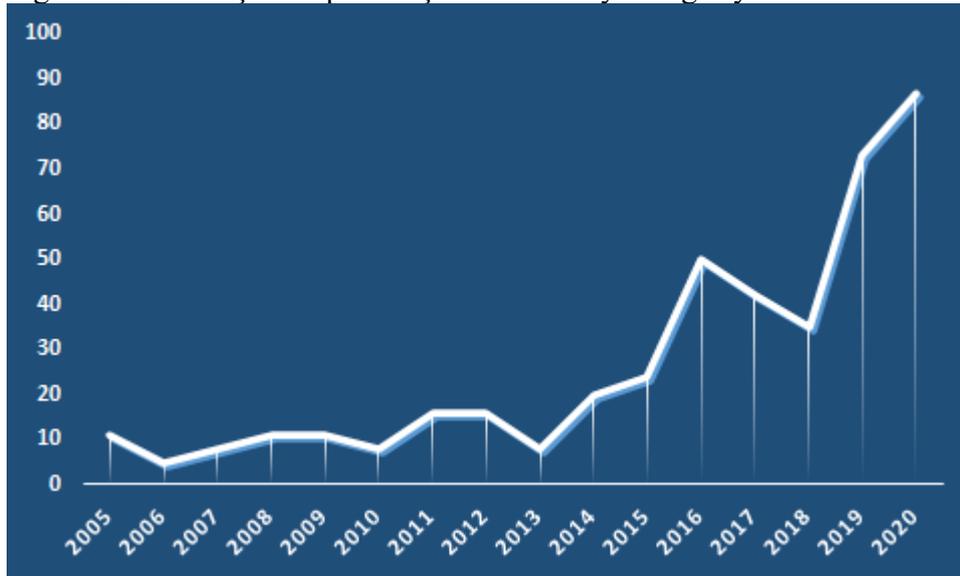
Figura 16 - Rede de ocorrência de palavras – Agile Manufacturing



Fonte: Autor, 2020

A última varredura, mas não menos importante, foi com as palavras “Industry” e “Agility”, que tinha por objetivo analisar os meios pelas quais as empresas estão buscando obter o ambiente ágil, nos últimos 15 anos (2005 a 2020), resultando um total de 425 artigos. Ao analisar a relação de publicação por ano, conforme apresentado na imagem 17, é possível notar um aumento nos últimos 5 anos, atingindo um total de 73 em 2019 e 87 em 2020, sendo possível inferir que a agilidade na indústria está sendo amplamente estudada nos últimos anos.

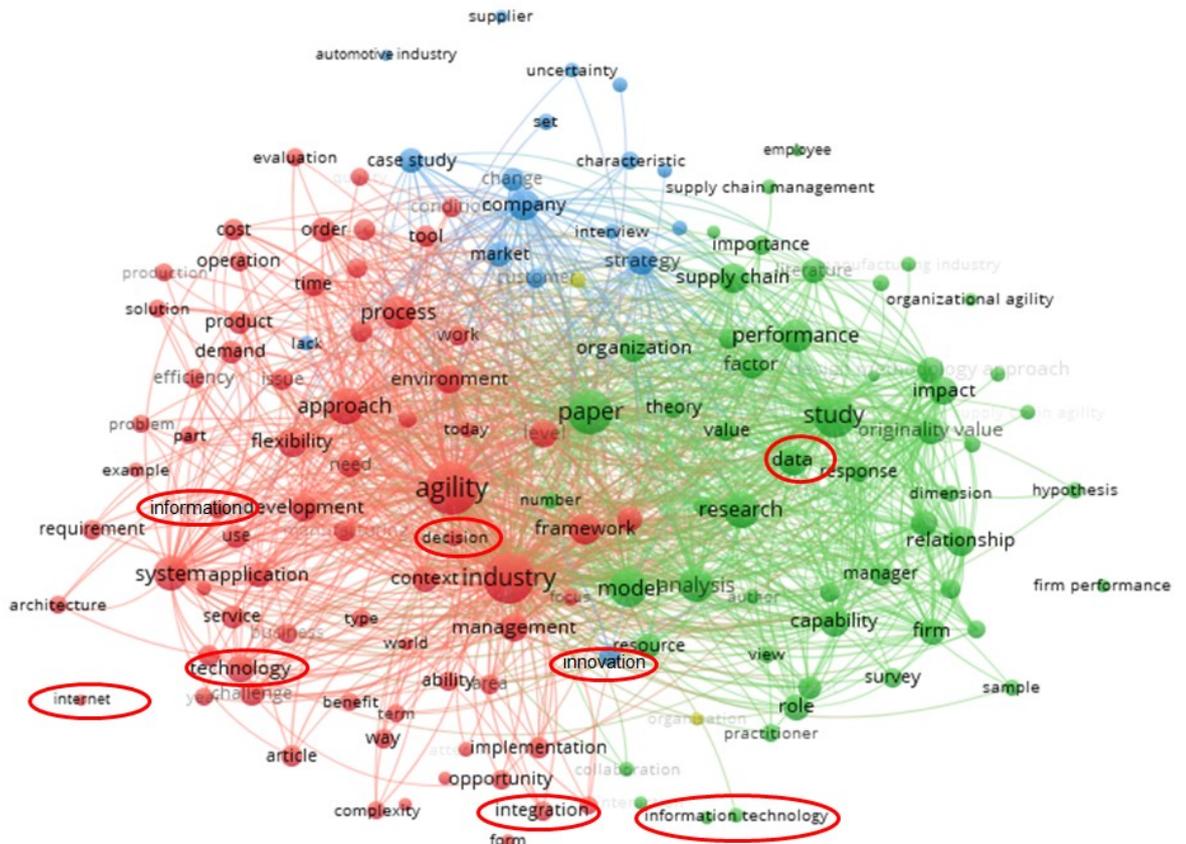
Figura 17 - Evolução de publicações – Industry &amp; Agility



Fonte: Autor, 2020

Ao analisar a rede de ocorrência de palavras, filtrando aquelas que tiveram ao menos 15 incidências, figura 18, pode-se observar a Internet das Coisas de forma intrínseca em algumas palavras chave, como tecnologia, internet, inovação, dados, tecnologia da informação, e também a incidência do termo integração, que nos remete muito ao conceito da manufatura ágil, onde cita a importância da integração de toda a cadeia.

Figura 18 - Rede de ocorrência de palavras – Industry & Agility



Fonte: Autor, 2020

A partir da varredura realizada, foi possível observar o gap de estudos que correlacionam IoT e o conceito de Manufatura Ágil, e a com base na rede de ocorrência destes dois termos, pode-se observar que de forma direta ou indireta os mesmos podem ser relacionados, onde na rede de ocorrência de Agile Manufacturing, apareceram vocabulários como internet, tecnologia da informação, dados, que estão presentes quando pensamos em IoT. Assim como na rede de ocorrência de Internet of Things houve recorrência de termos como flexibilidade, integração, qualidade, performance e custos, que são aspectos chaves para a Manufatura Ágil. Estas correlações podem ser fortificadas com a rede de ocorrência para Industry e Agility, onde pode-se notar que as publicações a respeito destes temas têm citato fortemente tecnologias da informação, internet, dados, integração e tomada de decisões, aspectos chaves tanto para a IoT como o conceito de Manufatura Ágil.

### 3.2 METODOLOGIA E ABORDAGEM DE PESQUISA

A escolha da metodologia de pesquisa é norteada por três condições chave, conforme descreve Yin (2001):

- a. Tipo de questão da pesquisa;
- b. Controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais;
- c. Grau de enfoque sobre eventos contemporâneos.

As respostas de tais condições podem ser correlacionadas com cinco diferentes naturezas de pesquisa, onde cada uma requer uma metodologia diferente. Tal correlação pode ser observada na tabela 1:

Tabela 1 - Critérios para escolha da metodologia de pesquisa

<b>Metodologia</b>	<b>Tipo de questão da pesquisa</b>	<b>Controle sobre os eventos comportamentais?</b>	<b>Possui enfoque em eventos contemporâneos?</b>
Experimento	Como, por que?	Sim	Sim
Levantamento	Quem, o que, onde, quantos, quanto?	Não	Sim
Análise de arquivos	Quem, o que, onde, quantos, quanto?	Não	Sim/Não
Pesquisa histórica	Como, por que?	Não	Não
Estudo de caso	Como, por que?	Não	Sim

Fonte: Autor adaptado de Yin, 2001, p. 24

O presente estudo é conduzido tendo como forma de questão o “como”, onde busca compreender:

- a. Como a Internet das Coisas ajuda a viabilizar as práticas da Manufatura Ágil;
- b. Como as empresas estão integrando os conceitos da Manufatura Ágil e a tecnologia IoT.

Com base na tabela 1, pode-se observar que questões do tipo “Como” é caracterizada pelas metodologias experimentais, pesquisa histórica e estudo de caso. Tendo em consideração que a pesquisa trata sobre a Internet das Coisas, onde como descrito anteriormente é uma tecnologia recente, ainda em exploração, logo, pode-se dizer há um foco em eventos

contemporâneos, que estão acontecendo ou irão acontecer nas empresas. Nesta linha, pode-se observar que não há controle sobre os eventos comportamentais, uma vez que tratando-se de uma tecnologia baseada em sensores, é intrínseca ao processo, não sendo possível manipulações e o investigador não possui envolvimento com as organizações estudadas. Neste contexto, a metodologia que melhor se encaixa com as condições citadas é o estudo de caso.

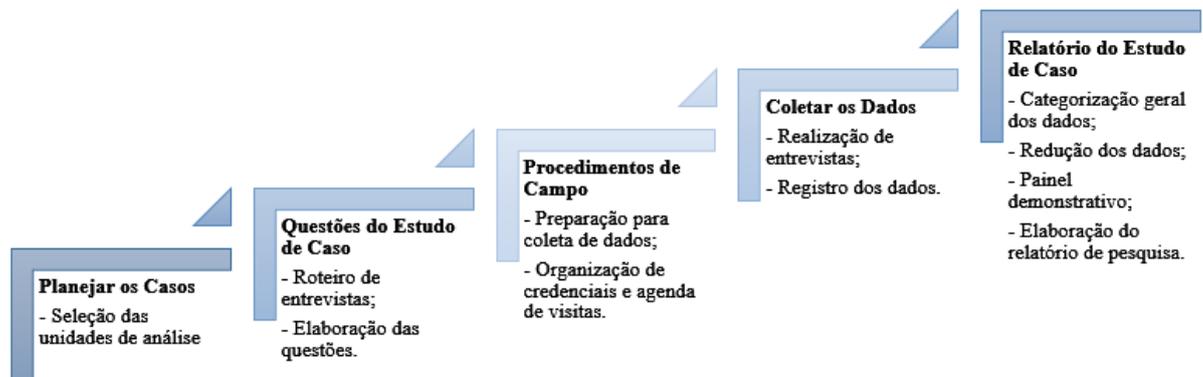
Tal escolha está em linha com o conceito descrito por Mattar (apud Miguel, 2007), onde expõe que esta metodologia tem como objetivo aprofundar os estudos de uma problemática que ainda não foi desenvolvida em sua totalidade, objetivando obter melhor compreensão desta, assim como expandir sua teoria. Yin (2001) reitera que o estudo de caso busca investigar os fenômenos contemporâneos que acontecem dentro de um contexto da vida real, principalmente quando os limites entre tais fenômenos e o contexto no qual está inserido ainda não estão claramente definidos. Lewis (1998) adiciona que para lidar com as constantes mudanças tecnológicas, e com sua magnitude, é necessário a utilização de métodos de pesquisar baseados em campo.

A abordagem adotada para o estudo de caso será a qualitativa. Esta abordagem foi escolhida levando-se em consideração o foco da pesquisa e a ênfase na perspectiva do indivíduo que está sendo estudado. O presente estudo possui foco na gestão dos processos em um ambiente de manufatura ágil, e como a *Internet of Things* impactará neste, e conforme Bryman (1989), o estudo qualitativo tem como foco os processos do objeto de estudo. No que se refere a ênfase na perspectiva dos indivíduos, Miguel (2012) explica que a abordagem qualitativa preocupa-se em obter informações sob a perspectiva dos indivíduos, onde as interpretações individuais são capturadas para ajudar o pesquisador compreender melhor a complexidade estudada, o que confronta diretamente com o objetivo do estudo de caso, que busca observar a perspectiva dos indivíduos quanto ao cenário da utilização da Internet das Coisas na manufatura, e como esta tecnologia está favorecendo na concepção de um ambiente ágil.

### 3.3 PROTOCOLO DE PESQUISA

Roteiro de pesquisa, ou como chamado por Yin (2001, p. 80) “Protocolo de Pesquisa”, é uma ferramenta destinada a captura de dados de um estudo de caso, considerada uma maneira eficaz de aumentar a confiabilidade do estudo de caso, além de auxiliar para que estes sejam administrados uniformemente. O protocolo de pesquisa do presente estudo, apresentado na figura 13, terá como base os roteiros de estudo de caso propostos por Yin (2001) e Miguel (2007).

Figura 19 - Protocolo de Pesquisa



Fonte: Autor adaptado de Yin (2001), p. 89 e Miguel (2007), p. 221

A primeira etapa a ser realizada é a seleção das empresas que contribuirão com o estudo de caso, conforme critério de escolha descrito no tópico 4.2. A segunda etapa é a preparação do roteiro de entrevistas, com a elaboração das perguntas que serão aplicadas (vide anexo A). Com as companhias selecionadas e roteiros de questões prontos, a próxima etapa é a preparação para a coleta de dados, onde será verificado junto aos gestores quais colaboradores poderão conceder a entrevista (obedecendo o perfil dos entrevistados descritos no item 4.3), e também o local e data para realização das pesquisas. A quarta etapa é a realização da coleta de dados, com a realização das entrevistas, aplicação das questões e registro de dados, que será feito por meio de gravação. A quinta e última etapa é a geração do relatório de estudo de caso, onde primeiramente será feito um relatório da gravação, posteriormente uma categorização das informações, seguida de uma redução dos dados, de forma a manter apenas dados essenciais, posteriormente será montado um painel demonstrativo, com as principais informações separadas por companhia e categoria de questão, e por fim será feito um relatório do estudo de caso.

### 3.4 CRITÉRIO DE ESCOLHA DAS EMPRESAS

A seleção das empresas que contemplarão o estudo de caso foi subdividida em duas etapas, onde primeiramente foi feito um mapeamento de empresas com projetos IoT, e posteriormente alguns critérios de escolha foram aplicados nesta lista de empresas, selecionando cinco empresas, onde conforme Eisehardt (1989), uma quantidade de 4 a 10 casos é uma amostra suficiente para concepção do estudo de caso.

O mapeamento das empresas foi realizado por meio de duas fontes: contatos profissionais e levantamento de empresas associadas a Associação Brasileira de Internet das Coisas (ABINC) e Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII), selecionando companhias com foco em gestão da IoT na manufatura, que estão desenvolvendo ou desenvolveram projetos IoT.

Posteriormente, foram escolhidas empresas que estão aplicando a tecnologia IoT em pelo menos uma das aplicações apresentadas por Tao et al. 2018, e que encontram-se em estágios diferentes de implantação desta tecnologia. Os estágios de desenvolvimento da Internet das Coisas serão avaliados por meio da análise dos cinco estágios da IoT, proposto pela Bsquase (2016).

O propósito de realizar um estudo em companhias de diferentes níveis de maturidade da IoT deve-se a possibilidade de observar especificidades culturais, aplicações da tecnologia, assim como nível de integração entre Internet das Coisas e Manufatura Ágil obtido. O mesmo também pode ser realizado com empresas do mesmo nível, analisando a similaridade entre estas, podendo observar se o nível de integração alcançado também é equivalente. De acordo com Voss, Nikos e Frohlich (2002), a realização de múltiplos casos produz maior quantidade de evidências, proporcionando maior veracidade, e também pode ajudar a proteger contra o viés do observador. Miguel (2007) acrescenta que a utilização de diversas fontes de evidência permite realizar a técnica de triangularização, possibilitando a iteração entre as fontes de evidência e obter uma melhor sustentação dos constructos e proposições.

### 3.5 PERFIL DOS ENTREVISTADOS

Conforme Eisenhardt (1989), é interessante conduzir o estudo de caso com vários entrevistados, pois muitas vezes os membros da equipe tem percepções diferentes ou até mesmo complementares, gerando uma maior riqueza de dados. A autora ainda acrescenta que tais concepções também aumentam a base empírica de hipóteses, podendo gerar a convergência de observações, e aumentar a confiabilidade das informações.

Como o estudo de caso foi realizado em um período de pandemia, não foi possível realizar as entrevistas “in loco”, desta forma, a coleta de dados foi conduzida via conferências e também por relatórios enviados pelos entrevistados. Devido a este momento de epidemia, muitas empresas estavam trabalhando com uma carga de funcionários reduzida, o que impossibilitou o uso de múltiplos investigadores. Porém, Voss, Tsiriktsis e Frohlich (2002) citam que, caso o questionário possa ser respondido de forma confiável por um “informante-

chave”, o processo pode se concentrar neste observador, no entanto, nas situações em que não há um único colaborador não detêm todas as respostas, a entrevista pode ser desenvolvida em conjunto com vários entrevistados.

No presente estudo, houve casos com “informante-chave”, em que o entrevistado dispunha de todo o conhecimento necessário para responder o questionário, porém também sucedeu ocasiões as questões foram respondidas a quatro mãos. Dentre os entrevistados, estavam presentes engenheiros, gerentes e diretores, um maior detalhamento pode ser observado na tabela 2:

Tabela 2 - Lista de entrevistados

<b>Caso</b>	<b>Entrevistado</b>
A	Engenheiro de Processos (Manufatura Avançada e Indústria 4.0)
B	Gerente Engenharia; Gerente Qualidade; Gerente Vendas
C	Diretor Industrial; Responsável por IoT e Indústria 4.0 na logística
D	Responsável pela implementação da solução
E	Gerente de Tecnologia; Gerente de Planejamento

Fonte: Autor, 2021

### 3.6 PROPOSIÇÕES DE PESQUISA

As proposições que nortearão o estudo de caso são:

- a) Em um ambiente competitivo e em constantes mudanças, a inovação digital é uma alternativa para que as empresas consigam sobreviver no mercado (SAVASTANO et al., 2019);
- b) As fontes de turbulência no mercado (concorrência global, novas tecnologias, soluções personalizadas e a introdução de novos produtos) são consideradas como a força motriz da fabricação ágil e o BDBA pode ser considerado um facilitador para alcançar as práticas de manufatura ágil (DUBEY e GUNASEKARAN, 2014);
- c) A Internet das Coisas pode ajudar a promover os níveis de agilidade através de suas categorias de aplicações (SHARIFI E ZHANG, 1999; GUNASEKARAN et al., 2017);
- d) A IoT pode ser um caminho para criação de valor a uma organização, ao facilitar o desenvolvimento da agilidade, porém ao mesmo tempo que está pode gerar impactos positivos, pode também ocorrer impactos negativos (VIAL, 2019).

## 4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem por objetivo apresentar os casos analisados.

### 4.1 EMPRESA A

Líder mundial em concepção, fabricação e distribuição de equipamentos e soluções agrícolas, apoiando a agricultura produtiva com uma linha completa de equipamentos e serviços relacionados. Com mais de 30 anos no mercado, a empresa conta com 5 fábricas no Brasil, sendo quatro no Rio Grande do Sul e uma em São Paulo.

O estudo de caso foi realizado na fábrica de SP, onde são fabricados tratores, motores e geradores elétricos. A planta vem incorporando soluções da Indústria 4.0 na sua produção, e atualmente conta com um projeto focado em Smart Factory, com o objetivo de tomar decisões de forma mais automatizada e direcionar ações baseadas em dados, de forma a manter sua competitividade através de melhorias na capacidade de produção, redução de custos, além de aumentar seu valor agregado.

Dentre as aplicações IoT realizadas na fábrica, alguns destaques são:

- a. Manutenção – nos equipamentos de CNC e braços robóticos, há sensores que enviam informações em tempo real, utilizando algumas ferramentas para analisar os dados, fornecer indicadores e auxiliar na tomada de decisões;
- b. Processo de medição integrado – com um dispositivo inteligente no processo de usinagem do motor, é possível realizar o acompanhamento das dimensões e realizar comparações com os limites aceitos de forma, ocorrendo uma variação, já é feita a correção de forma automática, e caso não seja possível a correção, ao finalizar o processo de usinagem é emitido um relatório de qualidade;
- c. Controle de torque – sensoriamento nos principais sistemas de apertos, identificando se os apertos estão dentro dos limites esperados, e principalmente criando um *dataset* que ajudará a analisar quais processos ou máquinas estão apresentando apertos fora do limite, ajudando a realizar um controle de qualidade, além de gerar rastreabilidade, onde caso um trator, por exemplo, gere problemas depois de um certo tempo, é possível investigar se a falha pode ter sido causada por apertos fora dos padrões definidos;
- d. Compressor inteligente – integração M2M (machine to machine) onde através dos dispositivos inteligentes e a integração deles, o compressor identifica quando

é demandado e atua, desta forma, o mesmo não fica ligado 100% do tempo, gerando uma redução de energia elétrica em cerca de 30%, além de realizar o envio de informações em tempo real para a equipe de manutenção, possibilitando uma manutenção preventiva e até mesmo preditiva.

Atualmente a planta conta com aplicações da tecnologia a nível de processo, ou seja, em apenas em alguns setores da empresa, focando naqueles em que gera maior valor agregado a empresa, como é o caso dos motores, que também faz necessário uma análise minuciosa, onde qualquer defeito ou retrabalho podem gerar altos níveis de perdas, e também focando nas máquinas que estão em trabalho constante, com ciclo 7x24 (sete dias por semana e 24 horas por dia). Mas no futuro, conforme já mencionado, a empresa busca aplicar a tecnologia de ponto a ponto em sua fábrica, de forma a obter integração e alcançar a fábrica inteligente.

No que se refere aos cinco estágios da Internet das Coisas, a planta pode ser classificada como entre os estágios dois e três, onde já possui equipamentos com dispositivos inteligentes, enviando os dados capturados para a nuvem, tendo um monitoramento em tempo real nas máquinas que operam 24 horas por dia e sete dias por semana ou naquelas que operam pelo menos dois turnos por dia, e começando a trabalhar na análise de dados, com projetos já mais desenvolvidos em alguns setores, como será mostrado adiante.

Dentre as seis categorias de aplicações IoT, a empresa está presente em quatro delas: Planejamento inteligente e otimização de processos; Monitoramento do Processo de Fabricação; Controle de Qualidade do Produto e Manutenção Inteligente dos Equipamentos. Algumas melhorias já observadas com estas aplicações são: redução nos custos de fabricação, melhoria na flexibilidade, qualidade e na performance operacional. Na matriz de correlação apresentada abaixo, é possível observar em quais categorias de aplicações foram observados impactos na agilidade:

Tabela 3 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa A

<b>Agilidade</b> <b>Aplicações IoT</b>	<b>Redução do time to market</b>	<b>Capacidade de personalização</b>	<b>Redução dos custos de fabricação</b>	<b>Flexibilidade</b>	<b>Performance Operacional</b>
<b>Design Inteligente</b>					
<b>Planejamento inteligente e otimização de processos</b>			X	X	X
<b>Distribuição e rastreamento de materiais</b>					
<b>Monitoramento do processo de fabricação</b>				X	X
<b>Controle de qualidade do produto</b>			X	X	X
<b>Manutenção inteligente de equipamentos</b>			X	X	X

Fonte: Autor, 2021

Pode-se observar que através das quatro aplicações, a empresa conseguiu ganhos na flexibilidade e performance operacional, e reduções em seus custos por meio do planejamento e otimização de processos, controle da qualidade e manutenção inteligente. Vale ressaltar, que devido ao ramo de atuação da companhia, atualmente não tem a necessidade de uma elevada capacidade de personalização e respostas mais rápidas ao mercado, uma vez que seu portfólio de produtos possui um ciclo de vida mais logo.

#### 4.2 EMPRESA B

Empresa do segmento de informática, de origem americana, fundada há mais de 36 anos, com presença global em mais de 100 países, contando com duas fábricas no território brasileiro, uma no estado do Rio Grande do Sul, e outra no estado de São Paulo, local no qual foi conduzido

o estudo. Seu portfólio de produtos conta com computadores, notebooks, dispositivos de armazenamentos, servidores, suporte com drivers e downloads, dentre outros. Nos últimos anos a companhia tem sido uma das líderes de venda do mercado brasileiro de computadores, onde um em cada quatro computadores vendidos no país, tem sua marca registrada.

A companhia relata que o desafio e aspecto importante para obter uma operação harmoniosa, em um ambiente de personalização *just-in-time* em massa do modelo de produção sobre encomenda, é a variabilidade. Em uma empresa que produz diariamente de 15 a 20 modelos diferentes por dia, e oferece alto nível de personalização ao seu cliente, onde o mesmo ao fazer o pedido monta seu equipamento conforme necessidade, a variabilidade é seu diferencial, mas também um grande desafio. Desta forma, a organização reconhece que a competitividade esta construída em torno do conceito de resposta ágil.

Pensando nisto, em meados de 2016 a companhia implementou um projeto pioneiro na fábrica de São Paulo, baseado no uso de *Internet of Things*, onde contará também com uma divisão específica para a área de IoT, focando no desenvolvimento de produtos e serviços, a partir das soluções que a mesma oferece.

Conforme explica um dos gestores, um local em que essa alta variabilidade estava afetando de forma direta o processo produtivo da fábrica, era a área de controle de qualidade, onde no final da linha de produção, após os produtos serem embalados, mas antes de serem enviados, a equipe desvia uma porcentagem dos produtos para uma sala para realizações de testes e verificações, um processo totalmente manual, mas que devido a variabilidade diária na produção, os números de desvio para cada tipo de produto mudam constantemente. Neste contexto, o projeto de IoT teve como seu objetivo inicial realizar a otimização da amostragem aleatória do controle de qualidade feita em produtos acabados embalados no final da linha de produção.

O processo inicia-se com a leitura em tempo real da “*service tag*” (etiqueta de identificação individual dos equipamentos), enviando os dados para o *gateway* de IoT da companhia. Posteriormente é realizada uma consulta das especificações técnicas das unidades produzidas no banco de dados e, através de scripts de análises, é definido de forma automática quais equipamentos devem ser submetidos aos testes de qualidade. Em seguida, o gateway envia um comando ao PLC (Controlador Lógico Programável) das esteiras de transporte, ocorrendo o desvio automático da unidade para a área de auditoria de qualidade.

Com a implementação do projeto de IoT, um processo que era oneroso e totalmente manual pode ser automatizado, realizado em tempo real, sem gerar atrasos na linha. Tal melhoria proporciona um dinamismo ao processo que seria difícil de ser alcançada de forma

manual, onde com a coleta, monitoramento de dados e *analytics* funcionando em tempo real, a quantidade de cada equipamento que se faz necessário passar pelos testes de qualidade é ajustada em tempo real, de acordo com a necessidade, onde conforme são encontradas maiores quantidade de avarias, mais unidades são desviadas, ou, observando regularidade em grande parte dos equipamentos testados, reduz-se a necessidade de testes, conforme indica a percepção de um dos líderes do projeto: “Esse novo processo, apoiado em Internet das Coisas, permite que a taxa de amostragem seja dinamicamente reduzida toda vez que a performance de cada modelo estiver acima dos padrões esperados de qualidade, aumentando com isso a produtividade da manufatura”.

Dentre os benefícios observados com as melhorias implementadas, tem-se:

- a) Aumento da produtividade da qualidade em 20%;
- b) Refinamento da precisão de amostragem do controle de qualidade;
- c) Melhores níveis de flexibilidade de amostragem por meio de dados em tempo real;
- d) Adquirir um modelo dimensionável e global de controle de qualidade.

Com os resultados obtidos a partir desta iniciativa, a empresa já pretende replicar este projeto em outras plantas, e também já está desenvolvendo projetos utilizando a tecnologia Internet das Coisas em outras áreas de seu processo produtivo, com o objetivo de alcançar ganhos na produtividade e reduções no processo de fabricação, para tanto, a mesma irá conectar mais sensores e atuadores ao *gateway* de IoT. E seguindo neste plano de transformação digital, a empresa investirá um alto valor nos próximos anos em novos produtos, laboratórios e programas de parcerias para acelerar a implementação de projetos IoT.

O estágio onde processo onde foi implementado o processo de transformação digital, pode ser classificada entre o terceiro e quarto estágio da IoT, onde os produtos são equipados com dispositivos inteligentes, monitorando e visualizando os dados em tempo real, e uma atividade complexa, que é a definição da amostragem de produtos que devem ser testados, já acontece de forma automatizada, assim como a segregação dos produtos.

Por enquanto, a tecnologia está sendo aplicada a nível de processo, onde a empresa está focando nas etapas onde o trabalho manual não consegue atender o dinamismo que a empresa precisa entregar, locais onde pode gerar impactos de forma imediata na sua produtividade e responsividade.

Atualmente a companhia aplica a tecnologia IoT em dois pilares, monitoramento do processo de fabricação e controle da qualidade, mas apenas com estas aplicações já foi possível

observar ganhos na performance operacional e redução nos custos de fabricação, e também ganhos de flexibilidade e em resposta ao mercado, conforme pode ser observado na tabela abaixo:

Tabela 4 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa B

<b>Agilidade</b> <b>Aplicações IoT</b>	<b>Redução do time to market</b>	<b>Capacidade de personalização</b>	<b>Redução dos custos de fabricação</b>	<b>Flexibilidade</b>	<b>Performance Operacional</b>
<b>Design Inteligente</b>					
<b>Planejamento inteligente e otimização de processos</b>					
<b>Distribuição e rastreamento de materiais</b>					
<b>Monitoramento do processo de fabricação</b>	X		X		X
<b>Controle de qualidade do produto</b>			X	X	X
<b>Manutenção inteligente de equipamentos</b>					

Fonte: Autor, 2021

Devido ao seu mercado de atuação, um dos fatores que a empresa preza e reconhece que é um diferencial competitivo, é a variabilidade, e a destaca a importância da agilidade para conseguir competir com a versatilidade que o mercado requer. Neste contexto, a partir das categorias de aplicativos IoT que a empresa implementou, ela conseguiu obter maiores níveis de responsividade, flexibilidade e performance, que são fatores que impactam diretamente na variabilidade, e também obteve redução de custos, onde estes aspectos conjuntamente possibilitaram maior agilidade a companhia.

### 4.3 EMPRESA C

Empresa multinacional de origem Alemã, com mais de um século de história, conhecida por ser um fornecedor líder mundial no mercado automotivo, tendo em seu portfólio produtos como bombas, motores, injetores, válvulas, alternadores, dentro outros. A companhia é subdividida em quatro áreas de negócio: soluções para mobilidade, tecnologia industrial, bens de consumo e energia e tecnologia predial, e conta com 12 fábricas no Brasil, sendo uma delas em Campinas, local onde foi realizado o estudo de caso. Dentre as linhas de produção presente na unidade de Campinas, tem-se os sistemas de gasolina, multimídia automotiva, eletrônica automotiva, sistemas de segurança, dentre outros.

Atualmente a empresa é considerada líder em IoT, oferecendo soluções inovadoras para casas e cidades inteligentes, mobilidade e indústria conectadas. E a companhia não só oferece soluções com base na tecnologia IoT, como também realiza aplicações da mesma em seu chão de fábrica. Com um direcionamento da matriz (Alemanha), todas as fabricas possuem uma estratégia baseada na Indústria 4.0, e para alcançar a mesma, utilizam a tecnologia *Internet of Things* como base.

A organização conta com uma nuvem própria e um *software* de plataforma de manufatura, onde as informações das máquinas são enviadas a este, e o mesmo também é integrado ao sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*). Algumas das aplicações IoT presentes no chão de fábrica atualmente são:

- a) RFID na logística interna: utilizam RFID em toda sua cadeia de logística interna, onde as caixas dispõem de *tags*, e ao passar por um portal, os sensores capturam estas *tags*, e a baixa de peças é feita de forma automática no sistema. Anteriormente, haviam altas diferenças de inventário, chegando valores de seiscentos mil reais, e com esta solução, foi possível reduzir estas diferenças em mais de 80%, além de que a empresa também não teve mais paradas na produção por erros logísticos;
- b) Manutenção preditiva: os centros de usinagem são equipados com sensores, que realizam a verificação da temperatura e vibração e enviam os dados para um *software* de inteligência artificial capacitado que eles chamam de *conditional monitoring*, onde conforme informações recebidas pelo *software* ele consegue identificar as anomalias, e enviar uma mensagem a equipe de manutenção, funcionando como se a máquina estivesse pedindo ajuda.

- c) Sensoriamento dos moldes de injeção: os moldes de injeção são equipados com sensores em sua parte externa, que identificam o movimento de abrir e fechar, capturam a temperatura e vibração e também possuem geolocalização. Com estes dispositivos é possível saber a localização do molde, seu tempo de ciclo, a quantidade de peças injetadas, e baseado nisto, eles conseguiram montar um acompanhamento que mostra quantas peças faltam para a vida útil do molde, ou a quantidade de peças até a próxima manutenção preventiva. Com estes dados, eles também conseguiram dispor de um *checklist* de manutenção preventiva que varia conforme o ciclo de trabalho, ou seja, para cada quantidade de peças fabricadas tem-se um *checklist* diferente, realizando um processo de adequação as necessidades da máquina, sem a necessidade de fazer manutenções ou trocar dispositivos antes do tempo, e o contrário também é verdadeiro, gerando economias para a companhia. Importante ressaltar que este sensoriamento dos moldes de injeção é realizado tanto na empresa como em seus fornecedores.

Além destas aplicações, algumas linhas de produção são munidas de sensores com o intuito de gerar uma conectividade da fábrica. Hoje em dia, esta conectividade ocorre apenas nos produtos que mais agregam valor para a organização, porém há um plano de contemplar toda a manufatura até 2025. Nos estágios onde a conectividade está presente, o monitoramento de dados é realizado em tempo real, e os gestores conseguem acompanhar o que está acontecendo no processo pelo seu celular.

Apesar da companhia ter como objetivo obter uma fábrica 4.0, tendo uma integração de ponta a ponta, atualmente a mesma conta com aplicações da tecnologia apenas em alguns setores ou processos produtivos, focando naquelas etapas que estão gerando maior perda para a empresa, como é o caso das diferenças de inventário, e também nas linhas de produção que geram maior valor agregado.

Os processos onde as aplicações IoT já são uma realidade podem ser classificados entre os estágios três e quatro, com conectividade de dispositivos, monitoramento e análise de dados em tempo real, e em alguns casos, algumas tarefas já são realizadas de forma automática, como por exemplo a baixa de materiais e inventário.

As categorias de aplicativos da Internet das Coisas presentes hoje na manufatura são: Planejamento inteligente e otimização de processos, Distribuição e rastreamento de materiais, Controle de qualidade do produto e Manutenção inteligente de equipamentos, gerando impactos no tempo de resposta ao mercado, redução de custos, flexibilidade e performance

operacional, e a correlação entre as aplicações IoT e seus impactos podem ser observados na tabela abaixo:

Tabela 5 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa C

<b>Agilidade</b> <b>Aplicações IoT</b>	<b>Redução do time to market</b>	<b>Capacidade de personalização</b>	<b>Redução dos custos de fabricação</b>	<b>Flexibilidade</b>	<b>Performance Operacional</b>
<b>Design Inteligente</b>					
<b>Planejamento inteligente e otimização de processos</b>					
<b>Distribuição e rastreamento de materiais</b>	X		X	X	X
<b>Monitoramento do processo de fabricação</b>	X		X	X	X
<b>Controle de qualidade do produto</b>	X		X	X	X
<b>Manutenção inteligente de equipamentos</b>	X		X	X	X

Fonte: Autor, 2021

Pode-se observar que em todas as aplicações IoT realizadas a empresa conseguiu impactar quatro dos cinco aspectos da agilidade: time do Market, redução de custos, flexibilidade e performance. Apesar do ramo de atuação não demandar de uma reação rápida ao mercado, já que não possui uma alta variabilidade como outros *cases*, uma vez que no mercado automotivo, por exemplo, a rotatividade dos produtos é quase que anual, ao ocorrer atualizações do modelo de carro, a companhia observou que a *Internet of Things* pode ajudar em seu tempo de resposta ao mercado.

#### 4.4 EMPRESA D

Indústria de tinturaria brasileira, atuando no segmento têxtil, com tingimento de fibras naturais e artificiais. Seu parque fabril está localizado em Santa Catarina, e atualmente possui um mercado de atuação concentrado fortemente no sul do Brasil, com participações em outras regiões do país.

A companhia com o intuito de melhorar seus níveis de flexibilidade e produtividade, onde para muitos parecia ser um trade-off, buscou a partir de tecnologias da Indústria 4.0 atingir os dois simultaneamente, realizando a implementação da solução tecnológica em toda sua planta.

Contando agora com um e-commerce e agendamento online dos pedidos, no dia escolhido pelo cliente, a tinturaria retira as malhas no cliente, já na sede, as malhas são transferidas para gaiolas (lotes), equipadas com uma etiqueta de RFID, onde serão recolhidas por robôs equipados com sensores, que identificam o peso e dados da mercadoria, confirmando se aquela é a matéria prima correta e os dados da mercadoria condizem com o que está no sistema. Estando tudo em conformidade, os robôs carregam as gaiolas para o pulmão de recebimento, onde aguardam para a armazenagem, e no momento certo, os tecidos são transferidos para a área chamada de pulmão da abrideira, onde são preparados para o tingimento.

O processo possui monitoramento em tempo real, onde as gaiolas, robôs e outros equipamentos são equipados com dispositivos inteligentes que enviam informações para a nuvem, isto permite que o mesmo seja acompanhado de forma remota, onde além dos gestores e colaboradores acompanharem o processo em tempo real, os clientes também podem realizar este acompanhamento por meio de um aplicativo, sendo possível observar em qual estágio seu produto encontra-se.

Neste projeto desenvolvido pela empresa, foi possível observar a conectividade e a integração, que são aspectos chave da Manufatura Ágil, com integração de mais de 3000 sensores RFID, 11 balanças, 4 elevadores e 5 robôs, com o ERP e WMS para controle e gestão de todo o processo. Tudo isto é conectado em uma plataforma que orquestra e recebe todos os dados, para realizar a gestão da operação, assim como gerar dados para a camada de gestão para a tinturaria, assim como os para seus clientes, para fazer todo o tracking.

A partir da solução implementada a empresa conseguiu obter um sistema de armazenagem e abastecimento 100% automatizado, com cinco robôs abastecendo a cinco andares de forma totalmente autônoma, acionamento automático dos elevadores e identificação

das gaiolas e posições com RFID. Com isto, o resultado obtido foi aumento da qualidade, redução de erros operacionais, aumento da produtividade em 122% de 90 ton/dia para 200 ton/dia, onde o objetivo era aumentar para 160 ton/dia, redução de lead time, além do fortalecimento do seu diferencial competitivo, conseguindo atender o tradicional mercado têxtil de forma diferenciada.

Após o processo de transformação digital, a empresa B pode ser classificada como estágio três e evoluindo para o estágio quatro, onde seus equipamentos são munidos de dispositivos inteligentes, capturando e enviando dados em tempo real, em que estas informações também são integradas com outros sistemas de gestão da empresa, e com isto a empresa analisa os dados e fornece informações em tempo real não só internamente. E também, com os dispositivos inteligentes presente nas gaiolas, robôs e em outros equipamentos, há uma integração M2M, pode-se observar automatizações do equipamento até o início do processo, onde por meio da geolocalização os robôs encontram as gaiolas, realizam a checagem da matéria prima, e levam a mesma para o processo de tingimento.

Dentre as aplicações de Internet das Coisas descritas no processo acima, podemos citar a integração entre a gaiola equipada com RFID e o robô equipado com dispositivos inteligentes, integração do processo com o ERP (*Enterprise Resource Planning*) e WMS (*Warehouse Management System*), demandando as matérias primas conforme a necessidade, integração M2M (*Machine to Machine*), sensores de localização, de forma a reconhecer a posição das gaiolas, dentre outros.

Esta empresa utilizou de uma aplicação a nível planta da tecnologia, aplicando está de ponta a ponta em seus processos, devido a sua alta necessidade de integração entre clientes, processos e fornecedores, para atingir seu objetivo e entregar maiores níveis de flexibilidade e produtividade. Para a integração de seu processo produtivo, a empresa fez-se necessário da aplicação de todas as categorias de aplicativos IoT, gerando impacto em todos os aspectos da agilidade, conforme pode ser observado na matriz de correlação abaixo:

Tabela 6 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa D

<b>Agilidade</b> <b>Aplicações IoT</b>	<b>Redução do time to market</b>	<b>Capacidade de personalização</b>	<b>Redução dos custos de fabricação</b>	<b>Flexibilidade</b>	<b>Performance Operacional</b>
<b>Design Inteligente</b>	X			X	
<b>Planejamento inteligente e otimização de processos</b>	X		X		X
<b>Distribuição e rastreamento de materiais</b>			X		X
<b>Monitoramento do processo de fabricação</b>		X		X	X
<b>Controle de qualidade do produto</b>		X	X		
<b>Manutenção inteligente de equipamentos</b>					X

Fonte: Autor, 2021

Através da matriz de correlação pode-se observar que a empresa conseguiu ganhos na performance operacional em quatro das seis aplicações IoT, e que metade das aplicações da tecnologia geraram reduções de custos para a empresa. Um detalhe a ser destacado, é que devido ao ramo de atuação da empresa, esta necessita de uma elevada capacidade de personalização, assim como ter uma resposta mais rápida ao mercado, e aplicando a *Internet of Things* no monitoramento do processo, controle de qualidade, design e planejamento inteligente, a empresa conseguir impactar estes aspectos ágeis.

#### 4.5 EMPRESA E

Empresa brasileira do segmento de papel e celulose, presente há 121 anos no mercado, atua em quatro áreas de negócios: florestas, com a comercialização de toras de madeira; celulose, fornecendo três tipos diferentes desta matéria prima; papéis, com a produção de papéis e cartões a partir de celulose própria; embalagens, fornecendo soluções personalizadas em papelão ondulado e sacos industriais. A companhia conta com 23 unidades industriais distribuídas ao longo do território brasileiro, e uma unidade na Argentina.

Este segmento de atuação apresenta grande volatilidade do mercado, seja devido as incertezas ou as rápidas alterações do produto, além de possuir alta variabilidade, já que alterações na granularidade do papel ou no clareamento, por exemplo, representa uma personalização diferente ao cliente. Neste contexto, a flexibilidade e agilidade é um aspecto muito importante em seu processo produtivo.

Como uma alternativa para driblar estas adversidades do mercado, e possibilitar uma resposta cada vez mais rápida aos clientes, a organização está realizando múltiplas ações em suas fábricas de forma a aplicar as práticas da Indústria 4.0, e seu maior projeto atualmente foi a criação de uma fábrica com o conceito inteligente, promovendo a integração de informações de todos os sistemas que compõem o complexo, de forma a centralizar as informações e facilitar seu acesso de forma eficiente. Esta unidade está situada no Paraná, sendo responsável pela produção de 1,5 milhões de toneladas de celulose, e foi o local onde o estudo de caso foi realizado.

Este projeto deu início em 2016, onde a fábrica desde sua concepção foi desenhada para ser inteligente, de forma a ter uma planta *digital twin*, que traduzido ao português significa “gêmeo digital”. A ideia do *digital twin* é uma representação digital de um objeto ou processo, onde com informações em tempo real você consegue acompanhar o que está acontecendo no chão de fábrica, e mais importante, com este gêmeo digital é possível realizar simulações detalhadas de todo o seu processo, proporcionando melhor acuracidade nas tomadas de decisões.

De forma a alcançar seu objetivo, dados em tempo real são coletados de mais de 20.000 instrumentos de medição de processo, 3.000 válvulas de controle, 600 bombas e 300 válvulas, totalizando no monitoramento de cerca de 85 mil variáveis, e todas as informações são

integradas a um software utilizado pela empresa, que também faz a interface com mais de dez sistemas. Um dos aspectos mais importantes do gêmeo digital é a capacidade de associar os lotes de árvores ao produto acabado, e analisar os dados do lote em tempo real, sendo possível correlacionar informações como qualidade, viscosidade, PH, secura e sujidade ao tempo de corte, idade e densidade da espécie que foi matéria prima para o produto.

Um fato interessante que aconteceu na empresa, e pode ser solucionado de forma ágil graças a integração das informações, foi que, em um dado lote foi observado um que o brilho da polpa saindo da máquina de secagem estava abaixo dos padrões esperados, e utilizando seu sistema que integra todas as informações, foi feita uma comparação entre os dados de todas as etapas do processo, desde o corte das toras florestais, até o lascamento, branqueamento e secagem, e então conseguiram rastrear rapidamente que o problema estava no processo de branqueamento, conseguindo solucionar o problema de forma rápida, evitando grandes paradas.

De acordo com o entrevistado, ter um *digital twin* na planta acelerou a tomada de decisões, onde anteriormente as decisões para ajustar o ritmo de produção levava de uma à duas horas, já que os coordenadores precisavam avaliar de forma totalmente manual o efeito da mudança, agora estes mesmos coordenadores são capazes de realizar simulações em tempo real, reagindo de forma mais rápida e eficiente em toda a planta, otimizando seu ritmo de produção para as condições operacionais em tempo real. Como resultado, foi possível adicionar mais 3.400 toneladas de ar seco a produção por ano, o que representa um dia a mais de produção na planta.

Com as informações integradas à um único sistema, a empresa vem utilizando de notificações automatizadas para rastrear e detectar problemas nos equipamentos, avançando em direção a manutenção preditiva. Desde que se foi estabelecido o sistema de notificações de nível e fluxo do tanque, eles não tiveram mais paradas de produção devido ao baixo estoque, e atualmente, a companhia não faz mais o uso de manutenção corretiva, apenas preditiva. Outro benefício alcançado com o monitoramento em tempo real, foi conseguir controlar melhor a qualidade da água em suas cadeiras e evitar paradas dispendiosas, onde cada vez que uma caldeira precisa ser desligada, são perdidas oito horas de produção, acarretando em um custo estimado de US \$ 4,8 milhões por incidente. Com este controle, já foi possível evitar o desligamento de duas caldeiras, uma economia de US \$ 9,6 milhões.

Dentre os benefícios alcançados a partir da implementação do projeto, alguns destaques são: agilidade na tomada de decisão, aumento da disponibilidade das informações;

comunicação online de eventos; confiabilidade das informações; otimização do tempo operacional; redução das paradas de equipamentos e perdas de produção; integração dos sistemas; rapidez e facilidade na configuração dos dados. Os analistas da companhia ainda destacam como ponto positivo a capacidade que a empresa alcançou de conseguir se adaptar rapidamente as condições do mercado, assim como sua flexibilidade, conseguindo acompanhar as mudanças no cenário de demanda e preço.

Dentre os aspectos chave relatados para conseguir obter uma planta inteligente, o entrevistado coloca a Internet das Coisas como fundamental, justificando que esta tecnologia é a base para toda sensorização e integração da fábrica, onde sem a mesma não conseguiriam entregar a agilidade necessária. Mas a jornada de transformação digital ainda não acabou, atualmente eles estão trabalhando em um relatório de gerenciamento diário que irá apresentar os principais indicadores de desempenho (KPIs), de modo a conseguir identificar os problemas mais críticas e focar nestes, dentre outras fases que ainda estão por vir.

Em sua atual fase do processo de transformação digital, a companhia está no terceiro estágio da Internet das Coisas, com a conectividade dos dispositivos, monitoramento em tempo real e a análise das informações, possibilitando otimizações.

De forma a alcançar o objetivo de ter uma fábrica com o conceito inteligente, a empresa implementou a tecnologia IoT nas seis categorias de aplicativos, onde em todas as categorias foi possível observar ganhos na performance operacional, além de gerar impactos no time to Market, redução de custos e flexibilidade, como pode ser observado na tabela de correlação abaixo:

Tabela 7 - Correlação Aplicações IoT vs Agilidade - Empresa E

<b>Agilidade</b> <b>Aplicações IoT</b>	<b>Redução do time to market</b>	<b>Capacidade de personalização</b>	<b>Redução dos custos de fabricação</b>	<b>Flexibilidade</b>	<b>Performance Operacional</b>
<b>Design Inteligente</b>	X			X	X
<b>Planejamento inteligente e otimização de processos</b>	X				X
<b>Distribuição e rastreamento de materiais</b>					X
<b>Monitoramento do processo de fabricação</b>				X	X
<b>Controle de qualidade do produto</b>			X		X
<b>Manutenção inteligente de equipamentos</b>					X

Fonte: Autor, 2021

A partir da tabela de correlação pode-se observar que a empresa conseguiu reduzir o tempo de resposta ao mercado por meio da utilização da tecnologia IoT em duas categorias de aplicativos, no design inteligente e planejamento inteligente e otimização de processos, que é um benefício importante, uma vez que a companhia vem sentindo a volatilidade do mercado. As implementações da tecnologia também geraram impactos em outros aspectos da agilidade, como redução de custos, flexibilidade e performance operacional.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De forma a obter uma visão ampla dos casos apresentados, a tabela abaixo apresenta um resumo das cinco empresas:

Tabela 8 - Resumo dos casos

Caso	Mercado de atuação	Quantidade funcionários	Porte	Estágio IoT	Aplicação IoT (Processo ou Planta)	Estratégia (Proativa ou Reativa)	Categorias de aplicativos IoT	Aspectos Ágeis
A	Agricultura	> 20.000	Grande	Entre 2 e 3	Processo	Proativa	II, IV, V, VI	Redução dos custos de fabricação; Flexibilidade; Performance Operacional
B	Tecnologia	> 100.000	Grande	Entre 3 e 4	Processo	Proativa	IV, V	Redução do <i>time to market</i> ; Redução dos custos de fabricação; Flexibilidade; Performance Operacional
C	Automobilístico	> 390.000	Grande	Entre 3 e 4	Processo	Proativa	III, IV, V, VI	Redução dos custos de fabricação; Flexibilidade; Performance Operacional
D	Têxtil	> 400	Pequeno	Entre 3 e 4	Planta	Proativa	Todas	Redução do <i>time to market</i> ; Capacidade de personalização; Redução dos custos de fabricação; Flexibilidade; Performance Operacional
E	Madeira, Papel e Celulose	> 25.000	Grande	3	Planta	Proativa	Todas	Redução do <i>time to market</i> ; Redução dos custos de fabricação; Flexibilidade; Performance Operacional

Fonte: Autor, 2021

Onde:

- I. Design Inteligente;
- II. Planejamento inteligente e otimização de processos;
- III. Distribuição e rastreamento de materiais;
- IV. Monitoramento do processo de fabricação;
- V. Controle de qualidade do produto;
- VI. Manutenção inteligente de equipamentos.

Ao analisar a tabela seis, observa-se que um ponto em comum entre as empresas, independentemente de seu porte, mercado de atuação, ou nível tecnológico, é que todas tiveram uma estratégia proativa com relação a tecnologia IoT, e ao buscar a definição de proativo no dicionário, a primeira definição que aparece é “que visa antecipar futuros problemas, necessidades ou mudanças”, que vai de encontro ao pressuposto deste estudo, que cita sobre a volatilidade do mercado e suas mudanças constantes e imprevisíveis, e com isto, pode-se notar que de fato as companhias estão buscando na tecnologia uma forma de manter sua competitividade ou até mesmo como um meio de alavancagem.

Ao observar os casos, um ponto a se notar é na estratégia de aplicação da *Internet of Things*, onde algumas estão realizando implementações a nível de processos, já outras estão fazendo implementações a nível planta. Para os casos que iniciam as aplicações IoT em nível de processo, observa-se diferentes estratégias na escolha do estágio em que irão implementar a tecnologia, onde algumas mapeiam seu processo mais crítico e priorizam este, outras já optam por focar nas etapas ou linhas de produção que mais agregam valor, mas uma coisa em comum a estas companhias é que ambas almejam uma integração completa de seu processo produtivo. Já para os casos que partem de uma implementação a nível planta, ou seja, uma aplicação de ponta a ponta em seu processo produtivo, observa-se que algumas empresas já estão sendo concebidas desta forma, mas também tem os casos mais comuns, onde as companhias estão remodelando seu processo produtivo por completo, fazendo uma transformação digital de ponta a ponta. Ao comparar os dois casos em que foi realizando a aplicação nível planta, um aspecto interessante é que uma das empresas é de pequeno porte, com pouco mais de 400 funcionários, percebendo que a tecnologia não é algo restrito apenas as grandes, ou as multinacionais, a IoT pode ser uma realidade para todos.

Com o intuito de obter uma melhor comparabilidade entre os cinco casos, e observar a correlação entre as categorias de aplicativos IoT e a agilidade, foi elaborado um mapa de calor, onde com base na quantidade de empresas que implementaram determinada categoria de

aplicativo IoT, calculou-se um percentual de quantas conseguiram obter impactos em cada nível da agilidade, por exemplo, três companhias aplicaram IoT na distribuição e rastreamento dos materiais, e 67% destas, ou seja duas, conseguiram observar uma redução de custos em seu processo:

Tabela 9 - Mapa de Calor: Categorias de Aplicativos IoT vs Agilidade entre as companhias

	<b>Redução Time To Market</b>	<b>Capacidade Personalização</b>	<b>Redução dos custos de fabricação</b>	<b>Flexibilidade</b>	<b>Performance Operacional</b>	<b>Quantidade empresas aplicou Categoria IoT</b>
<b>Design Inteligente</b>	100%	0%	0%	100%	50%	2
<b>Planejamento e otimização de processos</b>	67%	0%	67%	33%	100%	3
<b>Distribuição e rastreamento de materiais</b>	33%	0%	67%	33%	100%	3
<b>Monitoramento do processo de fabricação</b>	40%	20%	40%	80%	100%	5
<b>Controle de qualidade do produto</b>	20%	20%	100%	60%	80%	5
<b>Manutenção inteligente de equipamentos</b>	25%	0%	50%	50%	100%	4

Fonte: Autor, 2021

A partir da tabela acima, pode-se notar que os processos em que as empresas mais estão utilizando a tecnologia IoT é no monitoramento do processo de fabricação, controle de qualidade do produto e manutenção inteligente do equipamento, mas aplicações no planejamento e otimização de processos e distribuição a rastreamento dos materiais não fica tão para atrás, estando presente em 67% dos casos estudados. A categoria de aplicativo IoT que as empresas ainda estão com menor número de implementação é o design inteligente, e ao questioná-las, elas relatam que é um aspecto que vai de encontro ao comportamento do usuário, e obter esta interação por meio de dados e online, não é uma tarefa simples.

Analisando as categorias de aplicativos da IoT que mais impactam na redução do *time do market* tem-se design inteligente, onde ao captar informações do comportamento do usuário e demanda, a empresa consegue se antecipar frente as necessidades do mercado, e reduzir seu tempo de resposta, e pode-se notar este aspecto no caso D, onde a empresa conta com um aplicativo para e-commerce, onde realiza agendamento dos pedidos, e também disponibiliza

informações em tempo real permitindo com que o cliente possa acompanhar cada etapa do seu pedido, o que possibilita uma integração com seu cliente, conseguindo capturar comportamentos e demandas, todas as empresas que conseguiram aplicar IoT no Design Inteligente obtiveram um melhor tempo de resposta ao mercado. Outra categoria de aplicativo IoT que impactou este aspecto da agilidade foi o planejamento e otimização de processos, onde através de dados de processo e capacidade das máquinas, a empresa é capaz de realizar, por exemplo, projeções de diferentes tamanho de lotes e o *lead time* atingido, dentre outras análises para obter otimizações, e esta aplicação é contemplada no caso E, onde por meio do *digital twin* a empresa realiza simulações em seu processo produtivo, com o objetivo de atingir o ponto ótimo em seu sistema. Outros aplicativos de IoT também apresentaram impactos neste aspecto, porém são impactos indiretos, como por exemplo as melhorias na performance operacional.

No aspecto da agilidade referente a capacidade de personalização, não foram observados grandes impactos a partir das aplicações da tecnologia, porém há três pontos importantes a serem levados em consideração, o primeiro deles, é que dentre os cinco casos estudados, apenas três deles (casos B, D e E) relatam alta variabilidade em seu portfólio, tendo a necessidade de oferecer altos níveis de personalização. O segundo ponto a se atentar é que dentre os três casos em que o ramo de atuação requer personalização, um deles está aplicando a tecnologia a nível processo (caso B), com aplicações IoT apenas no monitoramento do processo e no controle de qualidade, o que acaba não gerando impactos neste aspecto da agilidade. No terceiro item, um aspecto notável é que a transformação digital do caso D ainda não está finalizada, onde os entrevistados relatam que ainda há outras fases pela frente, logo espera-se que ao finalizar a implementação obtenha-se impactos na capacidade de personalização da empresa. Porém no caso D, única companhia que conseguiu impactar este aspecto, com a instalação de mais de 3000 sensores, monitoramento de balanças, elevadores, robôs, e tudo isso integrado ao ERP e WMS, a empresa consegue realizar um monitoramento completo do seu processo produtivo, e então realizar projeções e análises para melhorar sua capacidade de personalização.

No que diz respeito a redução dos custos de fabricação, todas as categorias de aplicativos da IoT, com exceção de design inteligente, sensibilizaram este aspecto da agilidade, atentando-se para o controle de qualidade, onde todas as empresas aplicaram tecnologia nesta etapa do processo, e 100% conseguiram obter reduções de custos. Podemos observar esta correlação no caso E, onde realizando um controle de qualidade da água em suas caldeiras, a empresa conseguiu evitar paradas em seu processo produtivo, economizando 9,6 milhões de dólares. Outros aspectos que redução de custos observado no estudo de caso foram na companhia A, com o compressor inteligente, em que com a interação M2M este é acionado apenas quando

demandado, reduzindo custos de energia em cerca de 30%, e também no caso C, onde a partir da aplicação do RFID na logística foi possível reduzir a diferença de inventário em mais de 80%.

No que se refere a flexibilidade, todas as categorias de aplicação da tecnologia refletiram neste aspecto da agilidade, observando uma correlação mais forte com o design inteligente (100%) e monitoramento do processo de fabricação (80%). Para as empresas que conseguiram aplicar a *Internet of Things* no design, estas conseguem captar o comportamento dos clientes, observar suas necessidades, e com esta antecipação, a mesma tem mais tempo para planejar ou até mesmo modificar seus processos para atender as exigências do mercado, o mesmo ocorre com o monitoramento do processo, onde conhecendo melhor sua disponibilidade de recursos, programação da produção, e ainda com estas informações em tempo real, é possível fazer análises e simulações de tamanhos de lotes para alcançar um menor *lead time*, e então conseguir aumentar seus níveis de flexibilidade. Exemplos de empresas que conseguiram melhorar este aspecto ágil pode ser observado no caso B, onde conseguiu obter melhores níveis de flexibilidade de amostragem por meio de dados em tempo real, e também no caso D, em que a mesma tinha por objetivo melhorar sua flexibilidade, e com a utilização de mais de 3000 sensores conseguiu monitorar seu processo, reduzir seu *lead time*, aumentar a produtividade, sensibilizando sua flexibilidade.

Ao observar os aspectos da agilidade que foram mais impactos, nitidamente os ganhos de performance operacional foi sensibilizado em todas as implementações feitas, onde em quatro, das seis categorias IoT, todas as empresas notaram ganhos em sua performance. Para a correlação entre planejamento e otimização de processos e performance operacional, pode-se tomar como exemplo o case E, onde a partir do gêmeo digital a empresa consegue realizar simulações no seu processo buscando melhores níveis de planejamento e otimização que atinjam seu melhor ponto de performance. Já para a relação deste aspecto ágil com a distribuição e rastreamento de materiais, a empresa C utiliza a tecnologia RFID para sua distribuição de matéria prima, contando também com baixas automáticas, que gera mais agilidade ao processo produtivo. Já para a aplicação de IoT no monitoramento do processo de fabricação, por meio da programação e dados em tempo real, a companhia B consegue otimizar sua amostragem para o controle de qualidade, gerando um aumento da produtividade em 20% nesta etapa do processo. E a correlação entre performance e manutenção pode ser observada no caso C, em que os dados captados pelos sensores nos centros de usinagem são enviados a um software de inteligência artificial que identificam possíveis anomalias e enviam avisos a equipe

de manutenção, evitando possíveis paradas produtivas, gerando impactos na performance operacional.

Um aspecto comum entre os entrevistados, é que todos davam ênfase ao dizer que a *Internet of Things* era a chave para todo este processo de transformação, se referindo a ela como o início e a base para a transformação digital, onde a mesma não se restringe apenas a conectividade dos dispositivos e sua interação com o ambiente externo, mas fornece um serviço completo, servindo também de base para outros processos tecnológicos, como a inteligência artificial por exemplo. Tal colocação dos entrevistados vai de encontro ao que é exposto por Bortolini et al. (2017) e Mohamed (2018), onde citam que a IoT é a base da Indústria 4.0.

Ao questionar os benefícios que as empresas buscam obter a partir das categorias de aplicação IoT, uma resposta comum a todas era a transparência, relatando que anteriormente não era possível ter uma visibilidade de seu processo produtivo, quanto mais em tempo real, benefício este que também é mencionado na literatura por Lee e Lee (2015), no qual explanam que esta tecnologia cria a possibilidade de fornecer uma visibilidade precisa e em tempo real. Georgakopoulos et al. (2016) expõe outros proveitos que podem ser obtidos por meio da Internet das Coisas, como melhorias de produtividade e qualidade, e estes foram observados em campo, e muitas das empresas até conseguiram mencionar os ganhos obtidos, como por exemplo a empresas B e D que conseguiram um aumento de produtividade de 20% e 122%, sucessivamente, e a companhia E, em que obteve uma economia de 9,6 milhões de dólares devido ao melhor controle de qualidade da água. O mesmo autor cita que esta tecnologia oportuniza o gerenciamento inteligente de inventário, por meio de *tags* eletrônicos, aplicação esta que também pode ser observada na prática no caso C, no qual a organização utiliza o RFID na logística e conseguiu reduzir sua diferença de inventário em mais de 80%.

Ao início da entrevista, as empresas sempre colocavam seus desafios frente ao mercado, onde tinham aquelas que citavam o alto nível de personalização, a variabilidade, ou conseguir prosperar em um mercado volátil, com suas incertezas e alterações constantes, mas uma coisa que elas tinham em comum, era a estratégia de resposta, argumentando que para sobreviver era necessário construir sua competitividade em torno de um conceito ágil, tais incitações e reações convergem com o que é exposto por Gunasekaran (1999) e Dubey e Gunasekaran (2014), ao relatar os adversidades do mercado, os níveis de competitividade, e a concepção da *Agile Manufacturing* como estratégia de resposta.

Um comentário importante e que deve ser enfatizado, feito por um analista de uma das empresas, foi que com processo de transformação digital, com a utilização da *Internet of Things*, a companhia adquiriu uma capacidade de se adaptar rapidamente as condições de mercado,

conseguindo acompanhar as mudanças no cenário de demanda e preços, e esta observação vai de encontro com a definição de manufatura ágil feita por Gunasekaran (1999, p. 87).

Retornando as proposições de pesquisa, muitas das afirmações feitas pelos autores podem ser confirmadas no estudo de caso:

- a) A colocação de Savastano et al. (2019) foi observada em 100% dos casos estudados, onde todos estão buscando na inovação digital, na tecnologia, uma forma remodelar seus negócios e garantir a competitividade, e isto não foi observado apenas em empresas de grande porte ou multinacionais, empresas brasileiras, de pequeno porte, também já possuem esta visão e estratégia de mercado;
- b) A alegação de Gunasekaram (2014) pode ser aceita com base no estudo de multicasos, em que com a ajuda da Internet das Coisas as empresas conseguem obter dados do processo em tempo real, e com o armazenamento destes é possível gerar uma camada de *Big Data*, e então conseguir realizar o *Business Analytics*, fazendo análises minuciosas das informações, montando *dashboards* de resultados e acompanhamento, e com o *Big Data* e *Business Analytics* (BDBA) as companhias conseguem melhorar seu processo de tomada de decisões, acompanhar seu chão de fábrica em tempo real e de qualquer lugar, criar histórico de falhas para ajudar na manutenção preditiva, dentre diversas outras estratégias que podem ajudar a alcançar um ambiente ágil;
- c) As afirmações de Sharifi e Zhang (1999) e Gunasekaran et al. (2017) puderam ser observadas na prática, em alguns casos de forma direta, já observando melhores níveis de agilidade, e outras de forma indireta, sendo notado benefícios em alguns aspectos da agilidade, como flexibilidade, performance, capacidade de personalização e adaptação ao mercado, e isso acontece devido ao ramo de atuação das empresas, onde algumas, devido ao ser mercado de atuação, ciclo de vida dos produtos e variabilidade, tem uma maior necessidade de uma resposta rápida ao mercado, e conseqüentemente maiores níveis de agilidade, como é o caso das companhias B, D e E, mas mesmo aquelas onde o ciclo de vida de seu produto é maior e seu portfólio de produtos não apresenta muita customização, observou grandes impactos nos aspectos ágeis;
- d) A proposição de Vial (2019) é aceita, porém com algumas ressalvas, onde conforme já citado, a tecnologia IoT é vista pelas cinco empresas estudadas como um caminho para criação de valor para seus negócios, gerando diversos

impactos positivos, como redução de custos, melhores níveis de flexibilidade, qualidade, performance, dentre outros benefícios, porém, nenhum dos entrevistados citou impactos negativos da tecnologia, o que não significa que não tenham aspectos negativos, mas isto ocorre porque as empresas ainda estão em período de desenvolvimento do processo de transformação digital, nenhuma ainda atingiu o nível 5 de maturidade, logo não são todos os dados da empresa que estão disponíveis, e há casos em que os dados ainda não estão na nuvem, outro motivo, são as leis mais rigorosas acerca da proteção de dados, como a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados), onde as empresas nas fases de concepção dos projetos já estão sendo mais cautelosas com a segurança e privacidade das informações.

## 5.1 CONTRIBUIÇÕES

As contribuições do estudo podem ser subdivididas em duas partes, contribuições teóricas e práticas.

No que se refere as contribuições práticas, o estudo permitiu observar, a partir dos resultados obtidos em campo, como estão sendo as ações para a implementação da tecnologia IoT nas fábricas, uma vez que na literatura, não há publicações de artigos apresentando esta abordagem. Pode-se notar que as empresas partem de duas estratégias para implantação da transformação digital, optando por aplicar a tecnologia a nível de planta ou processo, e para aqueles que preferem iniciar a nível de processo, há diferentes abordagens para escolha da etapa da linha de produção que irão começar, podendo ser pelo estágio mais crítico, ou pelo estágio que mais agrega valor, dentre outras opções. E a partir destes moldes de implementação, e observando que de fato as categorias de aplicativos da IoT podem gerar benefícios a empresa, pode servir exemplo e até mesmo motivação para as demais companhias.

Com o intuito de apoiar as empresas brasileiras a utilizarem a *Internet of Things*, no dia 25 de junho de 2019 foi publicado um decreto que institui o Plano Nacional de Internet das Coisas, que tem por objetivo implementar e desenvolver a IoT no país. Dentre os objetivos do plano nacional, destacamos três deles:

- a) Promover a capacitação de profissionais, no que se refere ao desenvolvimento de aplicações IoT;
- b) Aumentar a produtividade e estimular a produtividades das empresas;

- c) Aumentar a integração do Brasil com o cenário internacional, a partir da participação de fóruns e cooperação na pesquisa, desenvolvimento e inovação.

No que tange as contribuições teóricas, o estudo parte de um modelo proposto na literatura, e com base neste, propõe um novo modelo integrando a *Agile Manufacturing* e a *Internet of Things*, e a correlação desta metodologia com esta tecnologia, atualmente não é encontrada nas publicações. A pesquisa ainda vai além da proposição do modelo, levando este a campo, e comprovando a conexão entre os dois pilares, da tecnologia e do conceito de agilidade. A pesquisa também agrega aos meios científicos, mostrando que a visão IoT não se restringe apenas a um sensor, mas de uma solução completa, que inicia com a incorporação dos sensores, passando pela coleta de dados, armazenamento de dados, e chegando até a camada de análise, estas etapas podem ser observadas na figura dois (Estrutura das tecnologias digitais na Indústria 4.0), onde para alcançar uma manufatura inteligente, é preciso dispor da IoT, um ambiente de nuvem para armazenamento, o *big data* e por fim o *analytics*, onde as empresas analisam os dados, montam seus relatórios, criam alertas de processo, para então obter os benefícios esperados.

## 6 CONCLUSÃO

Partindo do objetivo geral do trabalho que busca analisar o papel da *Internet of Things* nas práticas da Manufatura Ágil, os estudos indicaram que de fato a solução tecnológica, tanto a nível processo como planta, pode gerar impactos nos aspectos ágeis. Com aplicações que podem ir desde a concepção do produto até a manutenção dos equipamentos, as empresas conseguiram notar benefícios no tempo de resposta ao mercado, capacidade de personalização, custos de fabricação, flexibilidade e performance operacional.

A partir do estudo de caso, pode-se observar que a tecnologia não se restringe apenas as empresas grandes, ou multinacionais, a IoT pode e é uma realidade para todos, em que todas as companhias que participaram do estudo tiveram uma estratégia proativa ao aplicar a solução. Houve casos de aplicação a nível processo, aplicando a tecnologia em etapas com maior geração de valor ou nos processos mais críticas, mas também houve aplicações a nível planta, e todos realçaram a importância desta tecnologia no processo de transformação digital, já observando grandes melhorias e viabilizando as práticas da agilidade.

No processo de transformação digital das empresas observadas, foi possível observar os três pilares funcionais proposto no modelo de pesquisa, iniciando nos *drivers*, onde algumas tinham como direcionador as soluções personalizadas, outras as incertezas do mercado, ou a competitividade, mas todas com uma estratégia proativa. As cinco tinham a Internet das Coisas como tecnologia base para seu processo de transformação digital, aplicando a tecnologia nas etapas do processo que era mais conveniente para a mesma, e impactando aspectos importantes, como tempo de resposta ao mercado, flexibilidade, velocidade, custos de fabricação, qualidade, capacidade de personalização, dentre outros.

Neste contexto, pode-se afirmar que a *Internet of Things* pode viabilizar as práticas da Manufatura Ágil, ajudando a empresa a responder de forma ágil e eficiente as exigências do mercado, assim como suas mudanças constantes e imprevisíveis.

Como diversos estudos, este também apresenta limitações, e um ponto de limitação do estudo de caso é o fato de não pode generalizar a pesquisa, em que os resultados obtidos se restringem aos cinco casos estudados, não podendo abranger que todas as empresas que aplicarem a tecnologia IoT terão os mesmos impactos na agilidade. Neste contexto, como sugestão de pesquisas futuras, seria realizar um trabalho quantitativo, de forma que seja possível generalizar os efeitos (diretos e indiretos) da Internet das Coisas na Manufatura Ágil. Sugere-se também como forma de aprofundar o entendimento na integração da IoT nas operações

efetuar um estudo longitudinal, com objetivo de acompanhar todas as etapas e os respectivos resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

AMOS, Jeffrey. **Transformation to agility**. 1996. Tese (Doutorado), University Of Texas, Austin, 1996.

AKHTAR, P. et al. The Internet of Things, dynamic data and information processing capabilities, and operational agility. **Technological Forecasting And Social Change**, [s.l.], v. 136, p. 307-316, nov. 2018. Elsevier BV.

ANTAO, L. et al. Requirements for Testing and Validating the Industrial Internet of Things. **2018 Ieee International Conference On Software Testing, Verification And Validation Workshops (icstw)**, [s.l.], abr. 2018. IEEE.

BADER, S. R.; MALESHKOVA, M.; LOHMANN, S. Structuring Reference Architectures for the Industrial Internet of Things. **Future Internet**, [s.l.], v. 11, n. 7, p. 151, 8 jul. 2019. MDPI AG.

BORTOLINI, M. et al. Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. **Ifac-papersonline**, [s.l.], v. 50, n. 1, p. 5700-5705, jul. 2017. Elsevier BV.

BOTTANI, E. On the assessment of enterprise agility: issues from two case studies. **International Journal Of Logistics Research And Applications**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 213-230, 15 maio 2009. Informa UK Limited

BOYLE, T. A.; KUMAR, V.; KUMAR, U. Concurrent engineering teams II: performance consequences of usage. **Team Performance Management: An International Journal**, [s.l.], v. 12, n. 5/6, p. 125-137, jul. 2006. Emerald.

BROUS, P.; JANSSEN, M.n; HERDER, P. The dual effects of the Internet of Things (IoT): a systematic review of the benefits and risks of iot adoption by organizations. **International Journal Of Information Management**, [s.l.], v. 51, p. 101952, abr. 2020. Elsevier BV

BRYMAN, A. Research methods and organization studies. 1. ed. Londres: Unwin Hyman, 1989. 283 p.

BSQUARE. Five Stages of IoT. **Bsquare Corp.**, 2016.

CHRISTOPHER, M. The Agile Supply Chain. **Industrial Marketing Management**, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 37-44, jan. 2000. Elsevier BV.

DEMIRKAN, H.; SPOHRER, J. C.; WELSER, J. J. Digital Innovation and Strategic Transformation. **It Professional**, [s.l.], v. 18, n. 6, p. 14-18, nov. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

DUBEY, R.; GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing: framework and its empirical validation. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 76, n. 9-12, p. 2147-2157, 10 out. 2014. Springer Science and Business Media LLC.

EDU, Abeeku; AGOYI, Mary; AGOZIE, Divine. Integrating Digital Innovation Capabilities Towards Value Creation. **International Journal Of Intelligent Information Technologies**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 37-50, out. 2020. IGI Global.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, out. 1989.

FITZGERALD, M. et al., 2014. Embracing digital technology: a new strategic imperative. **MIT Sloan Manage. Rev.** 55 (2), 1–12.

FRANK, A.; DALENOGARE, L.; AYALA, N. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 210, p. 15-26, abr. 2019. Elsevier BV.

GARTNER. Leading the IoT: Gartner Insights on How to Lead in a Connected World. **Gartner**, 2017.

GEORGAKOPOULOS, D. et al. Internet of Things and Edge Cloud Computing Roadmap for Manufacturing. **Ieee Cloud Computing**, [s.l.], v. 3, n. 4, p. 66-73, jul. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

GODINHO FILHO, M. **Paradigmas estratégicos de gestão da manufatura:** configuração, relações com o planejamento e controle da produção e estudo exploratório na indústria de calçados. 2004. 286 f. Tese (Doutorado).

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura ágil e customização em massa: conceitos, semelhanças e diferenças. **Revista de Administração**, v. 41, n. 1, p. 81-95, 2006.

GÖLZER, P.; FRITZSCHE, A. Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. **Production Planning & Control**, V.16, n. 16, p. 1332-1343, out. 2017.

GUISINGER, A.; GHORASHI, B.. Agile manufacturing practices in the specialty chemical industry. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 24, n. 6, p. 625-635, jun. 2004. Emerald.

GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing: a framework for research and development. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 62, p. 87-105, jan. 1999. Elsevier BV.

GUNASEKARAN, A.; YUSUF, Y. Y. Agile manufacturing: a taxonomy of strategic and technological imperatives. **International Journal Of Production Research**, [s.l.], v. 40, n. 6, p. 1357-1385, jan. 2002. Informa UK Limited.

GUNASEKARAN, A. et al. Agile manufacturing practices: the role of big data and business analytics with multiple case studies. **International Journal Of Production Research**, [s.l.], v. 56, n. 1-2, p. 385-397, 31 out. 2017. Informa UK Limited.

GUNASEKARAN, A. et al. Agile manufacturing: an evolutionary review of practices. **International Journal Of Production Research**, [s.l.], v. 57, n. 15-16, p. 5154-5174, 11 out. 2018. Informa UK Limited.

HASAN, M. A. et al. A study of enablers of agile manufacturing. **International Journal Of Industrial And Systems Engineering**, [s.l.], v. 4, n. 4, p. 407, 2009. Inderscience Enterprises.

HEISTERBERG, R.; VERMA, A. **Creating Business Agility**: how convergence of cloud, social, mobile, video, and big data enables competitive advantage. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 384 p.

Jl, W.; WANG, L. Big data analytics based fault prediction for shop floor scheduling. **Journal Of Manufacturing Systems**, [s.l.], v. 43, p. 187-194, abr. 2017. Elsevier BV.

KIDD, P. T. **Agile Manufacturing**: forging new frontiers. Wokingham, England: Addison-wesley, 1994. 388 p.

KÖKSAL, G.; BATMAZ, İ.; TESTIK, M. C. A review of data mining applications for quality improvement in manufacturing industry. **Expert Systems With Applications**, [s.l.], v. 38, n. 10, p. 13448-13467, set. 2011. Elsevier BV.

LAU, H.C.W. et al. Quality management framework for a virtual enterprise network: a multi :agent approach. **Managing Service Quality: An International Journal**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 300-309, ago. 2003. Emerald.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, [s.l.], v. 58, n. 4, p. 431-440, jul. 2015. Elsevier BV.

LEWIS, M. W. Iterative triangulation: a theory development process using existing case studies. **Journal Of Operations Management**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 455-469, jul. 1998. Wiley.

LOU, P. et al. Agile Supply Chain Management over the Internet of Things. **2011 International Conference On Management And Service Science**, [s.l.], ago. 2011. IEEE.

LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. **Journal Of Industrial Information Integration**, [s.l.], v. 6, p. 1-10, jun. 2017. Elsevier BV.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso da engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**. V. 17, n.1, p. 216-229, abr. 2007.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 226 p.

MOHAMED, M. Challenges and Benefits of Industry 4.0: An overview. **International Journal of Supply and Operations Management**, V. 5, p. 256-265, Ago. 2018.

PANT, S.; RATTNER, L.; HSU, C. Manufacturing Information Integration Using a Reference Model. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 14, n. 11, p. 52-72, nov. 1994. Emerald.

PFLAUM, A. A.; GOLZER, P. The IoT and Digital Transformation: toward the data-driven enterprise. **Ieee Pervasive Computing**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 87-91, jan. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

PRESLEY, A. et al. Engineering the Virtual Enterprise: an architecture-driven modeling approach. **International Journal Of Flexible Manufacturing Systems**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 145-162, 2001. Springer Science and Business Media LLC.

RASOULI, M. R. An architecture for IoT-enabled intelligent process-aware cloud production platform: a case study in a networked cloud clinical laboratory. **International Journal Of Production Research**, [s.l.], p. 1-16, jul. 2019. Informa UK Limited.

RAY, P. P. Internet of things for smart agriculture: technologies, practices and future direction. **Journal Of Ambient Intelligence And Smart Environments**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 395-420, 19 jun. 2017. IOS Press.

REN, J.; YUSUF, Y.Y.; BURNS, N.D. The effects of agile attributes on competitive priorities: a neural network approach. **Integrated Manufacturing Systems**, [s.l.], v. 14, n. 6, p. 489-497, set. 2003. Emerald.

ROY, D. et al. Multi-agent architecture for supply chain management. **Journal Of Manufacturing Technology Management**, [s.l.], v. 15, n. 8, p. 745-755, dez. 2004. Emerald.

SARKIS, J.; TALLURI, S.; GUNASEKARAN, A. A strategic model for agile virtual enterprise partner selection. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 27, n. 11, p. 1213-1234, 16 out. 2007. Emerald.

SAVASTANO, M. et al. Contextual Impacts on Industrial Processes Brought by the Digital Transformation of Manufacturing: a systematic review. **Sustainability**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 891, 9 fev. 2019. MDPI AG.

SHARIFI, H; ZHANG, Z. A methodology for achieving agility in manufacturing organisations: an introduction. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 62, n. 1-2, p. 7-22, maio 1999. Elsevier BV.

SHARIFI, H.; ZHANG, Z. Agile manufacturing in practice - Application of a methodology. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 21, n. 5/6, p. 772-794, maio 2001. Emerald.

STALK, George; HOUT, Thomas M.. Competing Against Time. **Research-Technology Management**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 19-24, mar. 1990. Informa UK Limited.

TAO, F. et al. Data-driven smart manufacturing. **Journal Of Manufacturing Systems**, [s.l.], v. 48, p. 157-169, jul. 2018. Elsevier BV.

TEKIC, Z.; KOROTEEV, D. From disruptively digital to proudly analog: a holistic typology of digital transformation strategies. **Business Horizons**, [s.l.], v. 62, n. 6, p. 683-693, nov. 2019. Elsevier BV.

VÁZQUEZ-BUSTELO, D.; AVELLA, L. Agile manufacturing: industrial case studies in spain. **Technovation**, [s.l.], v. 26, n. 10, p. 1147-1161, out. 2006. Elsevier BV.

VÁZQUEZ-BUSTELO, D.; AVELLA, L.; FERNÁNDEZ, E. Agility drivers, enablers and outcomes. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 27, n. 12, p. 1303-1332, 13 nov. 2007. Emerald.

VIAL, G. Understanding digital transformation: a review and a research agenda. **The Journal Of Strategic Information Systems**, [s.l.], v. 28, n. 2, p. 118-144, jun. 2019. Elsevier BV.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 195-219, fev. 2002. Emerald.

WEBSTER, M.; SUGDEN, D. Implementation of virtual manufacturing by a technology licensing company. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 23, n. 5, p. 448-469, maio 2003. Emerald.

WERNERFELT, Burger. A Resource-based View of the Firm. **Strategic Management Journal**, [S. L.], v. 5, n. 2, p. 171-180, ago. 1984.

WEYRICH, M.; EBERT, C. Reference Architectures for the Internet of Things. **Ieee Software**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 112-116, jan. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 207p.

YUSUF, Y. Y.; SARHADI, M.; GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing : The drivers, concepts and attributes. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 62, n. 1-2, p. 33-43, maio 1999. Elsevier BV.

ZHANG, Z.; SHARIFI, H. A methodology for achieving agility in manufacturing organisations. **International Journal Of Operations & Production Management**, [s.l.], v. 20, n. 4, p. 496-513, abr. 2000. Emerald.

## ANEXO A – ROTEIRO DE PERGUNTAS

---

### 1. Dados de caracterização da Empresa

---

- 1 Nome da empresa
  - 2 Mercado de atuação
  - 3 Quantidade de funcionários
  - 4 Tempo de atuação da empresa no ramo
  - 5 Principal produto/serviço
  - 6 Localização
- 

---

### 2. Dados de identificação do entrevistado

---

- 1 Nome
  - 2 Setor
  - 3 Função
  - 4 Tempo de atuação na empresa
  - 5 Tempo de atuação na função
- 

---

### 3. Processo de Transformação Digital e Internet das Coisas

---

- 1 O que motivou a empresa a implantar um Projeto de Transformação Digital?
  - 2 Quais os objetivos da empresa com o Projeto de Transformação Digital?
  - 3 Quais tecnologias digitais aplicadas ao Projeto de Transformação Digital?
  - 4 Como a empresa vem trabalhando no Projeto de Transformação Digital com base no uso IoT?
  - 5 Como a empresa trabalha os dados gerados pela IoT?
  - 6 O monitoramento de dados é utilizado em tempo real?
  - 7 Quais as categorias de aplicação IoT foram implementadas?
  - 8 Quais benefícios a empresa procurava obter com a aplicação de novos dispositivos IoT?
  - 9 Quais são os principais benefícios observados com a implementação da IoT?
  - 10 Quais as categorias de aplicação IoT a empresa pretende implementar?
  - 11 Quais benefícios a empresa busca obter a partir das novas categorias de aplicação IoT?
  - 12 Ao planejar o Projeto de Transformação Digital, a empresa tinha como objetivo melhorias na agilidade?
  - 13 Você conhece o conceito de Manufatura Ágil?
  - 14 Foi observada alguma melhoria nos seguintes desempenhos após o Projeto de Transformação Digital: Redução do time to market, capacidade de personalização, redução dos custos de fabricação, flexibilidade, performance operacional e qualidade?
  - 15 A empresa pretende implantar a tecnologia IoT em outras áreas? Em caso afirmativo, quais?
  - 16 Nos próximos meses, quais são as prioridades da empresa para melhorar o aproveitamento dos dados obtidos a partir da IoT?
  - 17 Como você caracteriza a maturidade da empresa para a utilização dos dados provenientes da IoT?
-

---

#### 4. Correlação entre Internet das Coisas e Agilidade

---

Assinalar com “X” onde foi possível observar impactos das aplicações da tecnologia IoT na agilidade

<b>Agilidade</b> <b>Aplicações IoT</b>	<b>Redução do time to market</b>	<b>Capacidade de personalização</b>	<b>Redução dos custos de fabricação</b>	<b>Flexibilidade</b>	<b>Performance Operacional</b>
<b>Design Inteligente</b>					
<b>Planejamento inteligente e otimização de processos</b>					
<b>Distribuição e rastreamento de materiais</b>					
<b>Monitoramento do processo de fabricação</b>					
<b>Controle de qualidade do produto</b>					
<b>Manutenção inteligente de equipamentos</b>					

Fonte: Autor, 2020