



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Mecânica

PATRÍCIA SANCHES ALVES

**SUPRIMENTOS 4.0 – ESTUDO EXPLORATÓRIO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DE
FERRAMENTAS DA INDÚSTRIA 4.0, IA E BIG DATA, VISANDO A MELHORIA DE
PROCESSOS**

CAMPINAS
2021

PATRÍCIA SANCHES ALVES

**SUPRIMENTOS 4.0 – ESTUDO EXPLORATÓRIO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DE
FERRAMENTAS DA INDÚSTRIA 4.0, IA E BIG DATA, VISANDO A MELHORIA DE
PROCESSOS**

**Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Estadual de Campinas,
como parte dos requisitos exigidos para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica na área de
Mecatrônica.**

Orientador: Prof. Dr. JOÃO MAURICIO ROSÁRIO

**O ARQUIVO DIGITAL CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELA ALUNA PATRÍCIA
SANCHES ALVES E ORIENTADA PELO
PROF. DR. JOÃO MAURÍCIO ROSÁRIO.**

CAMPINAS

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

AL87s Alves, Patrícia Sanches, 1973-
Suprimentos 4.0 - estudo exploratório baseado na utilização de ferramentas da indústria 4.0, IA e big data, visando a melhoria de processos / Patrícia Sanches Alves. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: João Maurício Rosário.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Indústria 4.0. 2. Inteligência artificial. 3. Big data. 4. Cadeia de suprimentos. 5. Pesquisa operacional. I. Rosário, João Maurício, 1959-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Supply 4.0 - exploratory study based on the use of industry 4.0, IA and big data tools, aiming process' improvement

Palavras-chave em inglês:

Industry 4.0

Artificial intelligence

Big data

Supply chain

Operational research

Área de concentração: Mecatrônica

Titulação: Mestra em Engenharia Mecânica

Banca examinadora:

João Maurício Rosário [Orientador]

Francisco Carlos Parquet Bizarria

Antônio Bizarria

Data de defesa: 04-06-2021

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-8767-8636>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/1639968334902755>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Estudo exploratório baseado na utilização de ferramentas da Indústria 4.0, IA e Big Data, visando a melhoria de processos

Autor: Patrícia Sanches Alves

Orientador: Prof. Dr. João Mauricio Rosário

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

Área de concentração: Mecatrônica

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Data de defesa: 04 de junho de 2021

A Comissão Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação de Mestrado.

- Prof. Dr. João Maurício Rosário – FEM/ UNICAMP (Presidente)
- Prof. Dr. Francisco Carlos Parquet Bizarria – UNITAU (Membro – Titular)
- Prof. Dr. Antônio Batocchio - FEM/ UNICAMP (Membro – Titular)

DEDICATÓRIA

Á Deus, ao meu pai, homem que buscava a sabedoria sobre todas as coisas, e que me deu toda inspiração e incentivo para executar este projeto de mestrado, João Alves Martins (em memória), e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade, pela saúde e pelos recursos para a realização deste projeto.

Agradeço de modo especial e único ao meu pai, João Alves Martins (em memória), por ser um exemplo de homem estudioso e que, com toda sua simplicidade me ofereceu a melhor educação, sempre me apoiando no caminho de aprendizagem. Obrigado por estar sempre ao meu lado, por me acompanhar nas aulas, por acreditar no meu potencial, por torcer por mim e se alegrar intensamente com cada uma das minhas vitórias.

Agradeço à minha família, que suportou minhas ausências e me apoiou com toda paciência e à minha amiga Ana Paula Mariotto por seu companheirismo.

Agradeço ao meu amigo Márcio Ferraresso por me apresentar a este curso e me apoiar para meu ingresso e ao professor Agostinho por ter me aceito como sua aluna especial, me abrindo as portas na Unicamp.

Agradeço ao professor João Mauricio Rosário por ter acreditado em meu potencial e aceito o desafio de me orientar neste trabalho. Gratidão imensa!

Agradeço a toda equipe de professores que participaram do meu processo de aprendizagem e avaliação, em especial à equipe da Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, que sempre me apoiou com os assuntos administrativos.

RESUMO

Nos dias atuais muitas empresas possuem uma estrutura de produção baseada no uso de tecnologias isoladas ou com baixo índice de integração entre as áreas envolvidas. Com o advento do conceito de Indústria 4.0 (I4.0), suas tecnologias, e a utilização massiva de objetos conectados através da Internet das Coisas Industrial (IIoT), o uso dessas novas tecnologias possibilitaram a integração sistêmica de uma empresa. Entretanto, com relação à cadeia de suprimentos, essa evolução ainda não foi adotada com a mesma intensidade em função de dificuldades na utilização do grande volume de dados (Big Data) disponíveis numa empresa. Para isso, a partir da I4.0, que representa a aplicação de tecnologias modernas nos processos produtivos, com influência em toda a organização, incluindo a cadeia de suprimentos, origina-se o conceito de Suprimentos 4.0 (Supply 4.0), uma área com identidade própria, que representa o potencial de integração das tecnologias estabelecidas na I4.0 com a área de Suprimentos. Esta Dissertação de Mestrado tem como principal objetivo apresentar um estudo exploratório baseado na utilização de ferramentas da I4.0, Inteligência Artificial (IA) e Big Data, visando a melhoria de processos, sendo apresentados, de forma sistematizada, os conceitos de Transformação Digital, I4.0, IA, Pesquisa Operacional (PO), BIG DATA, e, finalmente, estudos de casos que demonstram as melhorias nos processos a partir da utilização de ferramentas da I4.0 na cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Inteligência Artificial, Big Data, Cadeia de Suprimentos, Pesquisa Operacional

ABSTRACT

Nowadays many companies have a production structure based on the use of isolated technologies or with a low rate of integration between the areas involved. With the advent of Industry 4.0 (I4.0) concept, its technologies, and the massive use of objects connected through the Industrial Internet of Things (IIoT), the use of such new technologies enabled the systemic integration of a company. However, for the supply chain, this evolution has not yet been adopted with the same intensity considering the difficulties in using a large volume of data (Big Data) available in a company. For that, starting from the I4.0, which represents the application of modern technologies in production processes, influencing the whole organization, including supply chains, the concept of Supply Chain 4.0 emerged as an area with its own identity, and that represents the potential of technologies' integration with the procurement area. This Master's Thesis main goal is to present an exploratory study based on the use of I4.0 tools, Artificial Intelligence and Big Data, aiming the processes' improvements. It presents, in a systematized way, the concepts of Digital Transformation, I4.0, Artificial Intelligence, Operational Research (OR), Big Data, and, finally, case's studies demonstrating the processes' improvements upon the use of I4.0 tools on the Supply Chain.

Keywords: Industry 4.0, Artificial Intelligence, BigData, Supply Chain, Operational Research

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BI: Business Intelligence
Big Data: Grande Volume de Dados
Blockchain: Interoperabilidade e Rastreabilidade
Cloud: Computação em Nuvem
CPM: Critical Path Method / Método do Caminho Crítico
Data Analytics: Análise de Dados
Data Science: Ciência de Dados
Download: Baixar dados
EDI: Electronic Data Interchange / Intercâmbio Eletrônico de Dados
ERP: Enterprise Resource Planning / Planejamento de Recursos Empresariais
FMS: Freight Management System / Gerenciamento de Frete
I4.0: Indústria 4.0
IA: Artificial Intelligence (AI) / Inteligência Artificial
IIoT: Industry Internet of things / Internet das Coisas Industrial
Inputs: Entradas de Dados
IoS: Internet of Services / Internet dos Serviços
IoT: Internet of things / Internet das Coisas
LMS: Logistic Management / System Gerenciamento Logístico
Machine Learning: Aprendizado das máquinas
Omnichannel: Comércio Eletrônico
OMS: Order Management System / Gerenciamento de Pedidos
Online: ativo (conceito de internet)
Outputs: Saída de Dados
PERT: Program Evaluation and Review Technique / Técnica de Avaliação e Revisão de Programas
PNL: Planejamento não Linear
RFID: Radio Frequency Identification / Identificação por Rádio Frequência
Scheduling: Planejamento
SCM: Supply Chain Management / Gestão da Cadeia de Suprimentos
SI: Sistema de Informação
Supply Chain (SC): Cadeia de Suprimentos
TA: Tecnologia da Automação

TI: Tecnologia da Informação

TMS: Transportation Management System / Gerenciamento de Transporte

Upload: Carregar dados

Warehouse: Depósitos

WEB: Teia (conceito de internet)

WMS: Warehouse Management System / Gerenciamento de Armazém

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contexto do trabalho	14
1.2	Justificativa e Objetivos do trabalho	15
1.3	Estrutura de Desenvolvimento do Trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Metodologia Científica	17
2.2	Revolução Industrial e a I4.0	18
2.3	Revolução Industrial e a Transformação Digital	19
2.4	Indústria 4.0 (I4.0)	21
2.4.1	Tecnologias associadas à I4.0	23
2.4.2	Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquinas	24
2.5	Pesquisa Operacional na I4.0	30
2.5.1	Programação Linear	33
2.5.2	Programação Não-Linear (PNL)	35
2.5.3	Simulação	35
2.5.4	Teoria das Filas	36
2.5.5	Análise de Decisões	37
2.5.6	PERT/CPM	37
2.5.7	Planejamento (Scheduling)	38
2.6	Grande Volume de Dados (Big Data)	39
2.7	Data Analytics e Data Science	41
2.7.1	Análise de Dados (Data Analytics)	41
2.7.2	Ciência de Dados (Data Science)	42
2.8	Cadeia de Suprimentos (Supply Chain)	42
2.9	Conclusões	46
3	SUPRIMENTOS 4.0	47

3.1	Introdução.....	47
3.2	Estrutura de Suprimentos 4.0	48
3.3	Gestão da Cadeia de Suprimentos.....	50
3.4	Ferramentas da Cadeia de Suprimentos	50
	3.4.1 Integração ERP	51
	3.4.2 Omnichannel (Comercio Eletrônico).....	51
	3.4.3 Interoperabilidade e Rastreabilidade (Blockchain)	52
3.5	Impactos nas Estratégias de Suprimentos	53
3.6	Sistemas de informação (SI)	55
3.7	Softwares para Integração.....	56
	3.7.1 Gestão de suprimentos	56
	3.7.2 Expedição e Frete	57
	3.7.3 Gestão de Entregas.....	58
	3.7.4 Gestão Logística.....	59
	3.7.5 Gestão de Inventários	61
	3.7.6 Gestão de Distribuição	61
	3.7.7 Gestão de Estoques	63
3.8	Softwares “MES” e “PAPERLESS”	64
	3.8.1 MES (Manufacturing Execution System)	64
	3.8.2 “Paperless”	65
3.9	Logística ou Distribuição.....	68
	4 ESTUDO DE CASOS	72
4.1	Aplicações industriais de IA na I4.0 – Estudos de Casos.....	72
	4.1.1 Aplicação 1: Estudo de Casos da empresa Vale S.A.	73
	4.1.2 Aplicação 2: Estudo de Caso “Bosch”	82
	4.1.3 Aplicação 3: Estudo de Caso “Granado”	84

4.2	14.0: Estudo de Casos com foco no Agente Distribuição ou Logística da Cadeia de Suprimentos	86
4.2.1	Estudo de Caso 1: Empresa Robert Bosch do Brasil	87
4.2.2	Estudo de Caso 2: empresa transportadora DHL.....	92
4.3	Conclusões.....	97
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	99
5.1	Conclusões.....	99
5.2	Perspectivas Futuras.....	102
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

1 INTRODUÇÃO

A globalização aproximou os fornecedores e os clientes que estão localizados ao redor do mundo, mas impôs a exigência da procura por maior eficiência e redução de custos para melhorar a competitividade, que exige agilidade nos processos.

O princípio orientador da I4.0 é aumentar a produtividade, o crescimento da receita e a competitividade através da aplicação de tecnologias modernas nos processos produtivos, com influência em toda a organização, incluindo a cadeia de suprimentos, originando o conceito de Suprimentos 4.0 (Supply 4.0), uma área com identidade própria, que representa o potencial de integração das tecnologias estabelecidas na I4.0 com a área de Suprimentos.

1.1 Contexto do trabalho

Nos dias atuais muitas empresas possuem uma estrutura clássica de produção baseada no uso de tecnologias isoladas ou com baixo índice de integração entre as áreas envolvidas, e, em especial, com a cadeia de suprimentos.

A utilização de novas tecnologias proporcionadas pela Indústria 4.0 (I4.0), e utilização massiva de objetos conectados através da Internet das Coisas Industrial (IIoT), possibilitam a integração sistêmica entre os diferentes setores de uma empresa. Entretanto, com relação à cadeia de suprimentos, essa evolução ainda não foi adotada com a mesma intensidade em função de dificuldades na utilização do grande volume de dados (Big Data) disponíveis numa empresa.

Neste trabalho são apresentados, de forma sistematizada, através de levantamento bibliográfico e estudo exploratório, enfatizando a temática de cadeia de suprimentos associadas ao uso de novas tecnologias provenientes da I4.0, os conceitos de Transformação Digital, I4.0, IA, Pesquisa Operacional (PO), BIG DATA, e, finalmente, estudos de casos que demonstram as melhorias nos processos a partir da utilização de ferramentas da I4.0 na cadeia de suprimentos.

1.2 Justificativa e Objetivos do trabalho

O conceito de Suprimentos 4.0 é justificado pelo grande volume de dados (Big Data) disponíveis numa cadeia de suprimentos e a relevância da análise e utilização destes dados para melhoria de processos da cadeia de suprimentos, utilizando-se das tecnologias digitais disponibilizadas pela I4.0.

Esta Dissertação de Mestrado tem como principal objetivo apresentar um estudo exploratório baseado na utilização de ferramentas da I4.0, Inteligência Artificial (IA) e Big Data, visando a melhoria de processos, sendo apresentados, de forma sistematizada, os conceitos de Transformação Digital, I4.0, IA, Pesquisa Operacional (PO), BIG DATA, e, finalmente, estudos de casos que demonstram as melhorias nos processos a partir da utilização de ferramentas da I4.0 na cadeia de suprimentos.

1.3 Estrutura de Desenvolvimento do Trabalho

O desenvolvimento desta Dissertação de Mestrado foi estruturado através da elaboração de cinco capítulos enfatizando o tema Supply Chain 4.0, apresentando o seguinte conteúdo:

Capítulo 1: apresenta a introdução ao tema em estudo, contexto proposto para abordar o trabalho de pesquisa, justificativa e objetivos, e estrutura proposta para desenvolvimento do tema.

Capítulo 2: apresenta o trabalho de revisão bibliográfica, baseada em bases bibliográficas referenciadas, com bibliografias que abordam os temas da pesquisa, tais como Revolução Industrial e Transformação Digital, Indústria 4.0, Pesquisa Operacional (PO) e Inteligência Artificial (IA), Big Data e Cadeia de Suprimentos (Supply Chain).

Capítulo 3: apresenta o conceito de Suprimentos 4.0, e a utilização de ferramentas da PO, IA e Big Data disponíveis numa empresa, aplicadas a cadeia de Suprimentos.

Capítulo 4: apresenta três estudos de casos com foco na I4.0 e dois outros estudos de casos com foco no agente “Distribuição ou Logística” da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain), a partir da utilização de ferramentas da I4.0, tais como PO e IA e Big Data, para a melhoria de processos da Cadeia de Suprimentos.

Capítulo 5: apresenta as conclusões do trabalho e algumas perspectivas de estudos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento desta Dissertação de Mestrado foi realizado um levantamento bibliográfico através de pesquisa de artigos científicos nas principais bases de dados acadêmicos, utilizando uma base de dados de periódicos oficiais do governo (CAPES) que compreende publicações nacionais e internacional. Foram consultadas também a base de dados científica Emerald e a plataforma Google.

2.1 Metodologia Científica

A etapa de classificação de pesquisa foi baseada no trabalho realizado por SILVA e MENEZES (2005 apud MORALES, 2018), que estabelece como pode ser classificada uma pesquisa científica, ilustrado na Figura 2.1

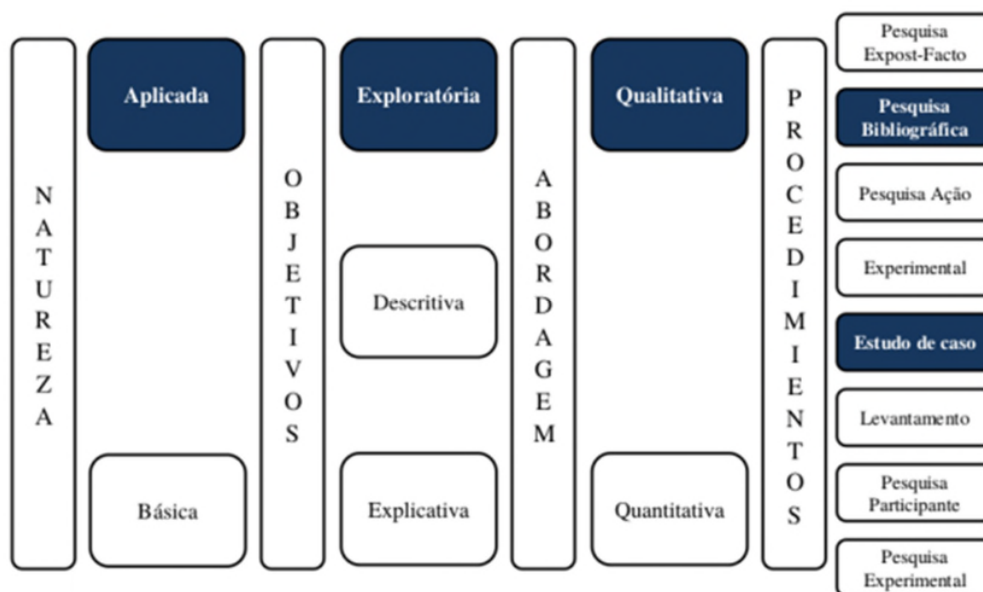


Figura 2.1 Classificação dos tipos de pesquisa (Fonte: SILVA e MENEZES, 2005 apud MORALES, 2018).

O presente trabalho de pesquisa pode ser classificado através dos seguintes elementos:

- **Natureza:** Aplicada, onde o conhecimento é construído mediante a interação com os conceitos que permitiram a solução de um problema.

- **Objetivos:** Exploratória, através de estudo de aplicações conhecidas. Envolve o levantamento bibliográfico e a análise de exemplos que estimulem a compreensão.
- **Abordagem do problema:** Qualitativa, através de descrições, comparações e interpretações realizadas pela análise de dados de forma indutiva, sem o uso de métodos e técnicas estatísticas.
- **Procedimentos:** Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Casos. A Pesquisa foi elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de publicações em periódicos e artigos científicos.

2.2 Revolução Industrial e a I4.0

Segundo Kravchenko e Kyzymenko (2019), a história do desenvolvimento humano nos últimos três séculos mostra uma série de mudanças revolucionárias nos setores industrial e, conseqüentemente, social e econômicos. Cada uma das quatro revoluções industriais existentes até o presente momento implementou uma abordagem inovadora que radicalmente mudou as tradicionais abordagens industriais de seu tempo, e o modo de vida de toda a sociedade e indivíduo, como mostra a Figura 2.2.



Figura 2.2 Evolução das Revoluções Industriais (Fonte: PIX FORCE. c2021)

Através da Figura 2.2 observa-se que a primeira revolução industrial teve sua origem através do uso da máquina a vapor (século XVIII); a segunda, através da potência gerada pela eletricidade (segunda metade do século XIX ao início do século

XX); e a terceira, através do uso da computação e tecnologia da informação (final do século XX - início do século XXI). Na quarta revolução industrial aparece o conceito de Transformação Digital, também denominada de Indústria 4.0 (I4.0) (desde 2011), podendo ser explicada de forma simples, como o fato de uma máquina poder se comunicar com outras máquinas. Ou, de forma mais técnica, como a utilização de sistemas ciberfísicos com comunicação autônoma entre máquinas, com o uso de sensores inteligentes (ibid.).

2.3 Revolução Industrial e a Transformação Digital

A transformação digital se apoia em inovações como robôs colaborativos, simulação, grande volume de dados (Big Data), Computação em Nuvem (Cloud), impressão 3D, objetos conectados, entre outros. Dentre as principais definições encontradas na literatura de transformação digital pode-se citar:

Marc Sauvage (2019) *apud* Moser, A., & Kolbe Júnior, A. (2020) define a Transformação Digital como:

“O uso de todas as tecnologias digitais disponíveis, para melhorar o desempenho dos negócios e contribuir para um aumento geral no padrão de vida.

“E é possível identificar através de quatro pilares que sustentam a transformação digital, a saber: eliminação das barreiras temporais pela comunicação e interação instantânea/imediata; possibilidade de permanecer conectado mesmo em movimento; a Internet das coisas (Internet of Things - IoT), que une o mundo físico e o virtual; a universalidade da *Internet*, e para a ONU é critérios para o desenvolvimento. ”

Roco Bainbrigde (2016) *apud* Morales Zapata, Oscar Stiven (2018) define que a transformação digital é:

“o resultado dos desenvolvimentos realizados após da segunda guerra mundial, onde um dos inventos mais significativos foi o transistor. Invento que mudou a face do século XX, transformando a imagem dos computadores, passando de simples ferramentas que ajudavam acelerar cálculos ou de criptografar o código criptografado a ferramentas com a capacidade de manipular instruções apropriadas de entrada e saída de múltiplos programas”

Para Mueller (1999) *apud* Morales Zapata, Oscar Stiven (2018) a transformação digital representa a ideia apresentada na Figura 2.3, que é:

“a superposição da integração de mídia, reunindo os seguintes componentes: (i) a superposição de funções desempenhadas por diferentes redes; (ii) aumento da interatividade e interoperabilidade em diferentes redes e dispositivos de informação e (iii) em um único aplicativo ou serviço reunir conteúdos de informação de telefonia, transmissão de som, televisão, filmes, fotografia, publicação de texto impresso e dinheiro eletrônico”.



Figura 2.3 Transformação digital (Fonte: SHEIN, c2021)

Em relação à área de negócios, de acordo com Fitzgerald et al., (2013) *apud* Camillo, G., de Vasconcellos, S., & Amal, M. (2020), a transformação digital levou a três mudanças significativas:

- “a) processos digitalmente suportados e interligados;
- b) comunicação digitalmente habilitada e;
- c) novas formas de geração de valor baseadas em inovações digitais.”

Finalmente, para Hausberg et al., (2019) *apud* Camillo, G., de Vasconcellos, S., & Amal, M. (2020)

“Na medida em que a dependência em tecnologia se intensifica em outras áreas, tais mudanças afetam, praticamente, todos os setores. Ainda assim, a transformação digital gerou novas áreas de negócios como o governo eletrônico, o banco eletrônico, e-marketing, e-turismo, e-saúde, fundindo áreas como medicina e sistemas da informação”

2.4 Indústria 4.0 (I4.0)

Melo, Gabriel (2020) afirma que:

“as mudanças que a Quarta Revolução Industrial nos impõe, diferem das anteriores que ocorriam apenas dentro das fábricas e indústrias. Nas revoluções anteriores, que eram uma conjunção do uso de novas tecnologias e políticas governamentais de diversos países, a indústria influenciava o comportamento da sociedade e formava tendências. Hoje, a sociedade dita as tendências, criando novos mercados e obrigando indústrias antes consolidadas a se reinventar. Como exemplo, pode-se citar o mercado de “streaming”, que é uma forma de transmissão instantânea de dados de áudio e vídeo através de redes. Por meio do serviço, é possível assistir a filmes ou escutar música sem a necessidade de baixar um arquivo “download”, o que torna mais rápido o acesso aos conteúdos “online”, que praticamente extinguiu um mercado anterior de vídeo locadoras.”

A I4.0 refere-se ao surgimento e difusão de uma gama de novas tecnologias industriais digitais, especialmente sensores embutidos, conforme mostra a Figura 2.4, para que produtos e dispositivos inteligentes possam:

- I. se comunicar e interagir uns com os outros (Internet das Coisas (Internet of Things - IoT);
- II. coletar e avaliar dados imediatamente após sua disponibilização para otimizar os custos e a qualidade da produção (análise de grande volume de dados (Big Data) e Análise de Dados (Data Analytics);
- III. ter robôs com maior autonomia e flexibilidade e técnicas avançadas de fabricação, tais como manufatura aditiva (impressão 3D).

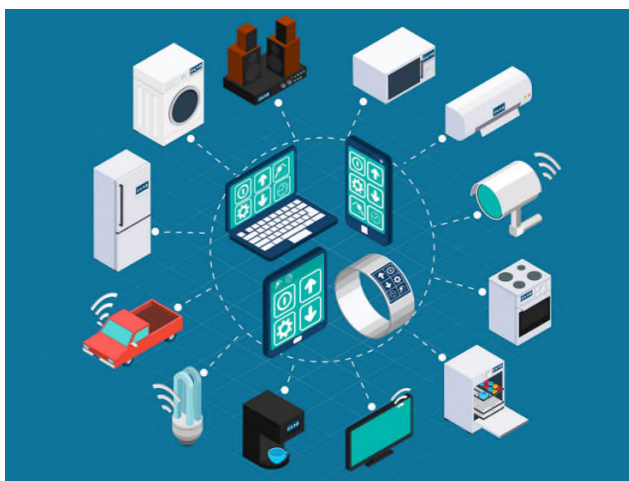


Figura 2.4 Indústria 4.0 (I4.0): Produtos e Dispositivos Inteligentes (Fonte: TECLOGICA. c2021).

Potencialmente, a I4.0 aporta muitas mudanças nas atividades de manufatura isoladas para fluxos de dados e produtos automatizados, otimizados e totalmente integrados dentro de cadeias de valor (STRANGE, 2017).

Segundo Bueno et al., (2018), as características da I4.0 que emergem de suas tecnologias resultam nas seguintes aplicações:

1. **Tecnologia digital:** os processos internos das empresas, componentes do produto, canais de comunicação e todos os outros aspectos-chave da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*) estão passando por um processo de tecnologia digital acelerado.
2. **Automação:** tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 (I4.0) permitem que as máquinas através de algoritmos possam tomar decisões. Fábricas inteiras e instalações de manufatura trabalham hoje com a menor interação homem-máquina possível.
3. **Transparência:** O processo de criação de valor, através do aumento na geração e transferência de dados disponibiliza um aumento em transparência. Dessa forma, promove tomada de decisões mais colaborativas e eficientes entre as empresas, onde se espera um comportamento dos parceiros e clientes corporativos mais transparente.
4. **Mobilidade:** A disseminação de dispositivos móveis torna possível a comunicação, compartilhamento de dados e geração de valores em todo o mundo. A mobilidade dos dispositivos está mudando a forma como os clientes interagem com empresas, e a comunicação e interação de máquinas e equipamentos no processo de produção.
5. **Modularização:** As tecnologias permitem a modularização de produtos. Instalações de produção modular podem ser ajustadas em sua quantidade autonomamente, o que aumenta a flexibilidade dos processos de produção.
6. **Redes Colaborativas:** Assim como os seres humanos em nossa sociedade estão interagindo nas redes sociais, os processos das empresas serão definidos e as atividades serão decididas pela interação de máquinas e seres humanos dentro de redes específicas dentro e fora das empresas.

7. **Socialização:** A colaboração em redes está habilitando máquinas para começarem a se comunicar e interagir com outras máquinas e / ou humanos de maneira socializada. Com isto, a colaboração com máquinas é socializada, a partir do momento em que os seres humanos são capazes de se comunicar com máquinas.

2.4.1 Tecnologias associadas à I4.0

A Figura 2.5 mostra as principais tecnologias associadas à I4.0, onde destacam-se, os grandes volumes de dados (Big Data), robôs autônomos, simulação, Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), Computação em Nuvem (Cloud), entre outros, além da utilização de Inteligência Artificial (IA) como ferramenta de gerenciamento e controle dessas novas tecnologias que permitem um novo leque de oportunidades para as empresas, inaugurando a era da I4.0 (STRANGE, 2017).

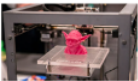


Figura 2.5 Exemplos de Inteligência Artificial (IA) - Indústria 4.0 (I4.0)

(Fonte: SINDICATO DOS METALÚRGICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO E MOGI DAS CRUZES. c2021).

Strange (2017) descreve nove tecnologias fundamentais utilizadas Indústria 4.0, conforme é mostrado na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Indústria 4.0 (I4.0): Resumo de Tecnologias (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos de Strange, 2017)

	BIG DATA É a coleta e a avaliação de dados de diversas fontes, tais como, equipamentos e sistemas de produção, bem como sistemas de gerenciamento corporativos e de clientes, para apoiar a tomada de decisões imediatamente após a disponibilidade da informação.
	ROBÔS AUTÔNOMOS & ROBOTICA É a interação dos robôs uns com os outros trabalhando em segurança lado a lado com os humanos. Robótica Ramo da tecnologia que engloba mecânica, eletrônica e computação, que trata de sistemas compostos por máquinas e partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados
	SIMULAÇÃO Usada, por exemplo, nas operações de uma fábrica para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e seres humanos, permitindo que sejam testadas as configurações da máquina no mundo virtual antes da troca física, reduzindo tempo de configuração da máquina e aumentando a qualidade.
	INTEGRAÇÃO DO SISTEMA HORIZONTAL E VERTICAL Trata-se da integração de redes entre departamentos ou entre empresas para troca de dados que permitem a criação de cadeias de valor automatizadas.
	IoT É a incorporação de computação nos dispositivos, permitindo que se comuniquem e interajam uns com os outros.
	CÍBER SEGURANÇA É a proteção dos sistemas contra ameaças de segurança cibernética, gerando comunicações seguras e confiáveis, bem como gerenciamento de identidade e acesso de máquinas e usuários.
	CLOUD É o compartilhamento de dados entre departamentos ou entre empresas nas nuvens, com tempos de reação de milissegundos, de forma que os dados são compartilhados com muita velocidade.
	MANUFATURA ADITIVA Como exemplo, a impressão 3D, utilizada principalmente para prototipar e produzir componentes individuais, ou para produzir pequenos lotes de produtos personalizados.
	REALIDADE AUMENTADA Como exemplo, os sistemas baseados em realidade aumentada suportam serviços como: a seleção de peças em um armazém; o envio de instruções de reparo em dispositivos móveis; etc.

2.4.2 Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquinas

A Inteligência Artificial (IA) avança no mundo inteiro e incorre em diversas mudanças na relação entre pessoas, serviços, máquinas e indústrias, e sua utilização cada vez mais frequente faz parte dos pilares da I4.0, como cita Russel; Norvig (2013) apud Melo, Gabriel (2020):

“Em 1943, foi realizado o primeiro trabalho interpretado como Inteligência Artificial (IA), realizado por Warren McCulloch e Walter Pitts. Baseando-se em três fontes: uma análise formal da lógica proposicional criada por Russell e Whitehead; o conhecimento da fisiologia básica e da função dos neurônios no cérebro; e a teoria da computação de Turing. Os pesquisadores apresentaram um modelo composto de neurônios artificiais, onde cada neurônio poderia estar “ligado” ou “desligado”, podendo alternar seu estado a partir de estímulos recebidos de outros neurônios conectados. Mostrando que qualquer função de computador poderia ser calculada usando uma rede de neurônios e os conectivos lógicos. Após isso, em 1949, McCulloch e Pitts sugeriram que tais redes de neurônios artificiais quando definidas adequadamente eram capazes de aprender padrões”.

O trabalho do inglês Turing (1950) é considerado um marco inicial da IA (Russel; Norvig 2013), como também mostra o artigo “Computing machinery and intelligence – Sistema Computacional e inteligência” de Melo, Gabriel (2020), sobre a máquina de Turing, que consistia da implementação de um teste hipotético para analisar a capacidade de um sistema computacional a demonstrar um comportamento inteligente equivalente ao de um ser humano, ou indistinguível deste, considerando a aprendizagem de máquina, a aprendizagem por reforço e os algoritmos genéticos.

De acordo com Melo, Gabriel (2020), a IA é a capacidade das máquinas de usar algoritmos para aprender com os dados e usar este aprendizado para tomar decisões como um ser humano. O Quadro 2.1 reúne definições de IA ao longo da história, feitas por meio de abordagens diferentes.

Conforme Melo, Gabriel (2020) em linhas gerais, as definições da parte superior do Quadro 1 se relacionam a processos de pensamento e raciocínio, enquanto as definições da parte inferior se referem ao comportamento. As definições do lado esquerdo medem o sucesso em termos de fidelidade ao desempenho humano, enquanto as definições do lado direito medem o sucesso comparando-o a um conceito ideal de inteligência, chamado de racionalidade.

Quadro 2.1 - Definições de IA organizadas em quatro categorias

Pensando como um humano	Pensando racionalmente
“O novo e interessante esforço para fazer os computadores pensarem (...) máquinas com mentes, no sentido total e literal.” (HAUGELAND, 1985) “[Automatização de] atividades que associamos ao pensamento humano, atividades como a tomada de decisões, a resolução de problemas, o aprendizado...” (BELLMAN, 1978)	“O estudo das faculdades mentais pelo uso de modelos computacionais.” (CHARNIAK; MCDERMOTT, 1985) “O estudo das computações que tornam possível perceber, raciocinar e agir.” (WINSTON, 1992)
Agindo como seres humanos	Agindo racionalmente
“A arte de criar máquinas que executam funções que exigem inteligência quando executadas por pessoas.” (KURZWEIL, 1990) “O estudo de como os computadores podem fazer tarefas que hoje são melhor desempenhadas pelas pessoas.” (RICH; KNIGHT, 1991)	“Inteligência Computacional é o estudo do projeto de agentes inteligentes.” (POOLE et al., 1998) “AI... está relacionada a um desempenho inteligente de artefatos.” (NILSSON, 1998)

(Fonte: Russel e Norvig (2013) *apud* Melo, Gabriel (2020))

Destaca-se que vários fatores alimentaram a revolução da IA em nossas vidas. Segundo Melo, Gabriel (2020), o mais importante deles é o amadurecimento do Aprendizado da Máquina (do inglês, Machine Learning), suportado em parte pelos recursos de Computação em Nuvem (Cloud) e coleta de dados baseada através da internet (www), nome pelo qual a rede mundial de computadores conectados pela internet se popularizou a partir de 1991, através da criação de uma interface gráfica que facilitou o acesso e estendeu seu alcance ao público em geral.

De acordo a SAS INSTITUTE BRASIL LTDA, empresa de tecnologia, c2021:

“enquanto a IA pode ser definida, de modo amplo, como a ciência capaz de mimetizar as habilidades humanas, Machine Learning é uma vertente específica da IA que treina máquinas para aprender com dados. Machine Learning é um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos. É um ramo da IA baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana.

Melo, Gabriel (2020), apresenta algumas definições de Machine Learning:

“Mitchell (1997) define Machine Learning como a capacidade de melhorar o desempenho na realização de alguma tarefa por meio da experiência”

“Faceli et al. (2011), define que os “computadores são programados para aprender com a experiência passada. Para tal, empregam um princípio de inferência denominado indução, no qual se obtém conclusões genéricas a partir de um conjunto de exemplos”

Dois pioneiros da área, Tom Mitchell e Michael I. Jordan (2015) observaram que a maior parte do progresso recente do aprendizado de máquina envolve um mapeamento a partir de um conjunto de “inputs – entrada de dados” para um conjunto de “outputs - saída de dados”. Na Quadro 2.2 pode-se ver alguns exemplos.

Quadro 2.2 -Exemplos de “inputs - entrada de dados”, “outputs - saída de dados” e aplicação em Machine Learning.

INPUT (ENTRADA) X	OUTPUT (SAIDA) Y	APLICAÇÃO
Gravação de voz	Transcrição	Reconhecimento de voz
Dados históricos de marketing	Dados de mercados futuros	Robôs de comercialização
Fotografia	Legenda	Rotulagem de imagem
Propriedades de drogas químicas	Eficácia de tratamentos	Pesquisa e desenvolvimento (P&D) farmacêutica
Detalhes de transações em lojas	Análise de transações fraudulentas	Detecção de fraudes
Ingredientes de receitas	Avaliação de clientes	Sugestão de comidas
Histórico de compras	Comportamento de compras futuras	Retenção do cliente
Localização de carros e sua velocidade	Fluxo de tráfego	Semáforos
Rostos	Nomes	Reconhecimento facial

Fonte: Brynjolfsson e McAfee (2017) *apud* Melo, Gabriel (2020)

Segundo Melo, Gabriel (2020)

“outro exemplo simples de como os algoritmos podem ser usados para aprender com os dados padrões e o conhecimento adquirido pode ser usado para tomada de decisões, são os filtros de spam de e-mail que usam aprendizado de máquina para detectar quais e-mails são spam e, em seguida, separa-los de e-mails legítimos.”

A SAS INSTITUTE BRASIL LTDA, empresa de tecnologia, c2021, identifica alguns requisitos para o desenvolvimento de um sistema de Machine Learning:

- Capacidade de preparação de dados;
- Algoritmos – básicos e avançados;
- Processos automatizados e interativos;
- Escalabilidade;
- Modelagem conjunta.

Também são pontuados dez desafios a serem considerados no desenvolvimento de um projeto de Machine Learning:

a. **Conhecimento do problema:** deve-se atentar para o fato de que uma máquina só é capaz de fazer algo que o ser humano faz, e apenas se a tarefa for passada a ela, não existindo mágica, e sim dedicação na utilização dos dados disponíveis.

b. **Qualidade de Dados:** os dados são os insumos para que o Aprendizado da Máquina aconteça, devendo-se considerar o grande volume de dados disponíveis (Big Data) e capacidade de leitura e organização de dados estruturados e não-estruturados. Para tanto, deve-se utilizar as propriedades estatísticas desses dados e diferentes ferramentas de auxílio.

c. **Análise de Dados:** outro importante desafio é a identificação no conjunto de dados utilizados para o Aprendizado da Máquina, onde os dados brutos e transacionais não podem ser considerados como “entrada” para implementação algoritmos de Machine Learning, onde cada algoritmo necessita de um tipo de entrada de dados que reflita o evento de estudo, e que contribuem para uma boa predição. A estrutura mais comum utilizada é a constituída de linhas e colunas. Exemplo: Um proprietário de um comércio eletrônico que vende produtos para animais de estimação que pretende implementar um algoritmo de Machine Learning capaz de informar ao consumidor sobre determinada marca de ração, o banco de dados utilizado deverá conter informações relevantes para a realização do negócio, e na maioria das vezes as variáveis brutas de um banco de dados contém informações não relevantes para o evento, e conseqüentemente necessita a realização de uma filtragem dos dados.

d. **Generalização:** Algoritmos devem ser implementados de forma genérica para que possam ser utilizados em outras aplicações, onde o desenvolvedor deverá ter conhecimento da finalidade de utilização de seu algoritmo Machine Learning. Caso o mesmo for desenvolvido como modelo de previsão de um comportamento futuro, este deverá ser generalizado, e no caso de não possuir todos os dados, é necessário que este algoritmo seja capaz de generalizar o modelo de predição de interesse ao estudo.

e. **Planejamento:** deverá ser criterioso e estruturado, e com base no conhecimento de um especialista. Exemplo: Pode-se mostrar duas situações que exemplificam o que deve ser observado: 1) a situação de como construir uma casa para deficientes físicos sem saber as reais necessidades deles, e 2) a situação de como abrir uma escola sem a existência de professores.

f. **Interpretação x acurácia:** Algoritmos de Aprendizado da Máquina utilizam, na maior parte dos casos, fundamentos estatísticos para a busca da acurácia do problema em estudo, e a maioria dos algoritmos não possibilita a interpretação dos parâmetros obtidos, ao contrário dos algoritmos providos da inferência estatística, que fornecem essa informação, mas perdem sua acurácia quando comparados com algoritmos mais complexos. Como na maior parte dos casos a explicação não é necessária, os algoritmos implementados utilizando Machine Learning fornecerão um índice de qualidade de ajuste provavelmente melhor que modelos estatísticos. Entretanto, quando a interpretação, além da acurácia, for necessária, deve-se utilizar, como alternativa, os modelos substitutos (surrogate models), que é a criação de um algoritmo complexo, com boa acurácia, e utilizar-se da predição deste modelo como variável dependente “alvo” (target) para outro modelo mais simples, que permita interpretação. Este é um caminho adotado para explicar modelos de parâmetros interpretáveis. Outra alternativa é analisar os percentuais (ou como se aplicar melhor ao problema em estudo) da estimativa gerada pelo algoritmo complexo contra o comportamento geral da base, para cada variável.

g. **Realização de testes:** muitos algoritmos de Aprendizado da Máquina são criados para causar “sobre ajuste” (overfitting), que muitas vezes não é buscado. Dessa forma, é melhor trabalhar com bases de teste que sejam criadas fora do seu

tempo de análise (normalmente utilizadas dos próprios conjuntos de dados existentes), ou seja, que representem um momento mais atual para encontrar falhas na manipulação de dados, variáveis vazadas (que foram criadas depois que a reposta aconteceu), além de verificar a estatística de ajuste do modelo.

h. **Aplicação:** o Aprendizado da Máquina pode não oferecer a interpretação dos parâmetros, entretanto, a tecnologia foi desenvolvida para execução de forma rápida e eficiente (em ambientes distribuídos e em memória) e algumas técnicas podem ser acuradas e ainda selecionar variáveis.

i. **Definição de prioridade:** Criar um algoritmo de Aprendizado da Máquina exige trabalho, presteza, conhecimento do problema, além da busca por algoritmos adequados para seu objetivo. A utilização da base de dados de forma adequada consome muito tempo e, normalmente, envolve profissionais de diversas áreas de uma empresa, pois a implementação dos algoritmos de Machine Learning devem obedecer a uma forte estruturação durante todas as suas fases de desenvolvimento.

Formação profissional: Considerando que não se tem a capacidade de aprender tudo o que se sabe com uma única pessoa, mas com um time multidisciplinar, a formação profissional de um desenvolvedor em Machine Learning deverá incluir o conhecimento em informática e manipulação de dados, Ciências da Informação, base sólida em estatística, como também a capacidade de especificação de problemas complexos.

2.5 Pesquisa Operacional na I4.0

A Pesquisa Operacional é uma área do conhecimento que possui grande interdisciplinaridade com diferentes áreas, entre elas a Ciência da Computação, e suas técnicas são aplicadas em redes de computadores, criptografia, visão computacional, sistemas de informação, sistemas operacionais, desenvolvimento de algoritmos, engenharia de software e IA (RODRIGUES, B. F. S. et al, 2013).

A expressão Pesquisa Operacional foi utilizada pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial, quando equipes de pesquisadores procuravam desenvolver

métodos para resolver determinados problemas de operações militares. O sucesso e avanço de aplicações em Pesquisa Operacional, principalmente com a utilização de computadores que permitem a realização de cálculos e manipulação de dados com grande rapidez direcionou o mundo acadêmico e empresarial a procurar utilizar estas técnicas em problemas de administração e gestão empresarial.

ANDRADE, 2004 apud Melo, N. A. F., Pessanha, A. M. B., & Filho, S. M. D. R., 2011 definem Pesquisa Operacional como um método científico de tomada de decisões que consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através de experimentação e simulação com o mesmo, descobrir a melhor maneira de operar um dado sistema.

Na concepção do American Institute of Industrial Engineers (ABEPRO, 2009), a Engenharia de Produção é a área da Engenharia que se ocupa com os problemas das operações produtivas, é responsável pelo projeto, implantação, operação, melhoria e manutenção de sistemas produtivos de bens e serviços, caracterizados pela integração entre homens, materiais, tecnologia, informação e energia, para o incremento da produtividade e da qualidade, bem como pela especificação, prevenção e avaliação dos resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e meio ambiente.

A Engenharia de Produção fundamenta-se nos conhecimentos especializados da matemática, física, ciências humanas e sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto da engenharia e da computação (ABEPRO, 2009), constituindo o elo entre a tecnologia propriamente dita e a administração de sistemas produtivos (OLIVEIRA NETTO e TAVARES, 2006), e a área de Pesquisa Operacional é responsável pela solução de problemas reais, recorrendo a situações de tomadas de decisão, através de modelos matemáticos, buscando aplicar conhecimentos de outras disciplinas como matemática, estatística, computação para aprimorar a racionalidade nos processos de tomadas de decisões, sem descuidar das variáveis que caracterizam os problemas.

A Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais e tem como foco a tomada de decisões, utilizando conceitos e métodos de outras áreas científicas, tais como economia, matemática, estatística e

informática ABEPRO (2009). A Figura 2.7 resume essas subáreas de conhecimento que são: modelagem, simulação e otimização; programação matemática; processos decisórios; processos estocásticos; teoria dos jogos; análise de demanda e inteligência computacional.

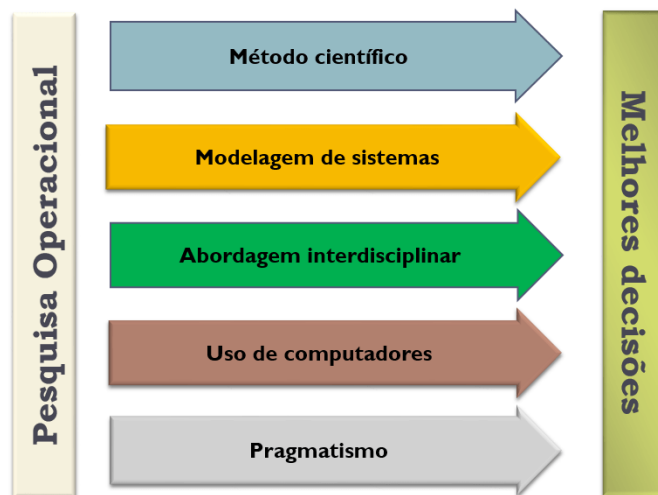


Figura 2.7 Conceito de Pesquisa Operacional (Fonte: SOBRAPO, 2009).

A utilização das técnicas de Pesquisa Operacional é justificada pela necessidade de evidenciar e tornar mais abrangente os estudos nesta área, já que a globalização trouxe consigo um ambiente competitivo, onde se tornam necessários a utilização de recursos que garantam a eficiência e viabilidade de investimento, e aplicações de métodos matemáticos que minimizem as incertezas nas decisões tomadas pelos administradores (SANTOS; SOUZA; MORAIS, 2008).

A Figura 2.8 apresenta algumas destas técnicas. Estas técnicas permitem a resolução de diversos problemas, dos quais destacam-se: alocação de recursos, localização e distribuição da produção, estoque, substituição e reposição de equipamentos, sequenciamento e coordenação de tarefas, determinação de caminhos em rede, roteamento de veículos, entre outros, e são aplicadas nos mais diversos setores da economia (ABEPRO, 2009).



Figura 2.8 Técnicas de Pesquisa Operacional (Fonte: Adaptado de Chiavenato, 1993, apud Rehfeldt, 2015).

As diversas técnicas de Pesquisa Operacional disponíveis são aplicadas de acordo com a especificidade de cada caso. A seguir descreve-se algumas destas técnicas.

2.5.1 Programação Linear

Segundo Costa (In Batalha, 1997) os problemas de Programação Linear, em geral, estão associados ao uso ou alocação de recursos escassos (mão-de-obra, materiais, equipamentos, capital), conforme Figura 2.9, buscando minimizar os custos envolvidos ou maximizar o retorno de capital.

Nessa mesma linha de pensamento, Andrade (2002) conclui que:

“em geral os recursos disponíveis não são suficientes para que todas as atividades sejam executadas no nível mais elevado que se possa desejar. Assim sendo, o que se procura, nesses casos, é encontrar a melhor distribuição possível dos recursos entre as diversas tarefas ou atividades, de modo a atingir um valor ótimo do objetivo estabelecido.”

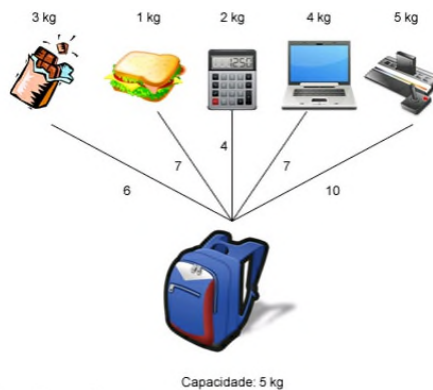


Figura 2.9 Escassez de Recursos (Fonte: **RODRIGUES**, Luís Henrique et al, 2014).

Segundo Andrade (2002), a programação linear tornou-se uma importante ferramenta no estudo de gestão, tais como: “organização de transportes, determinação de política de estoques, estudos de fluxo de caixa e investimentos, estudos de sistemas de informação, além dos tradicionais problemas de produção e de mistura de componentes”.

Os problemas de alocação de recursos, que se caracterizam pela existência de um objetivo e de restrições à aplicação dos recursos, são geralmente resolvidos com através da utilização do Método dos Pontos Interiores, ou pelo Método Simplex, que é mais tradicional e conhecido. (ANDRADE, 2002; COSTA, 1997).

Lisboa (2002) explica que

“o Método Simplex, desenvolvido por Dantzig em 1956, caminha pelos vértices da região viável até encontrar uma solução que não possua soluções vizinhas melhores que ela, obtendo assim uma solução ótima”.

Em alguns casos a solução ótima não pode ser encontrada, devido à falta de solução viável para o problema, ou quando uma ou mais variáveis tendem ao infinito, fazendo com que as restrições continuem sendo satisfeitas, o que fornece um valor sem limites para a função objetivo.

2.5.2 Programação Não-Linear (PNL)

Rodrigues, B. F. S. et al, (2013), destaca que a Programação Não-Linear (PNL) é muito utilizada em computação paralela para resolução numérica de problemas com restrições, utilizando o método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) e o código computacional LSGRG2.

Vasconcelos (2007) *apud* Rodrigues, B. F. S. et al, (2013), desenvolveu uma metodologia para avaliação e controle de segurança de sistemas elétricos interligados baseado na utilização de métodos de aprendizagem automática. A este trabalho de pesquisa, envolvendo redes de computadores e IA, foi implementado um problema de otimização que inclui Redes Neurais Artificiais - Artificial Neural Networks (ANN) como restrição funcional, caracterizando um modelo de Programação Não-Linear (PNL).

O principal conceito envolvido em Programação Não-Linear é o de taxa de variação e o grande problema que dificulta a obtenção da solução ótima nos problemas de Programação Não-Linear são os mínimos e máximos (extremos) locais da função- objetivo, conforme Figura 2.10.

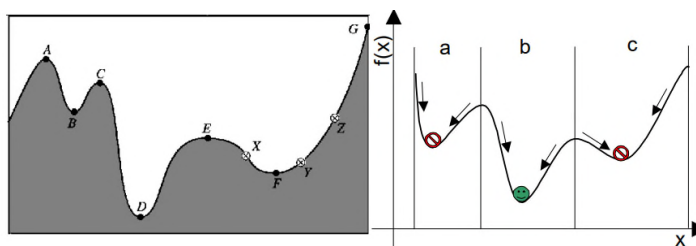


Figura 2.10 Programação Não Linear (Fonte: <https://www.ufjf.br/epd015/files/2010/06/ProgramacaoNaoLinear.pdf>. c2021)

2.5.3 Simulação

Em um mundo com mudanças mais frequentes e mais rápidas torna-se necessário o uso de ferramentas e metodologias que possam permitir aos gestores tomarem decisões com um nível adequado de confiabilidade. A utilização da

simulação é cada vez mais frequente em modelos complexos que exigem a utilização de cálculos computacionais, que otimizam o tempo da simulação e da construção do modelo matemático. (SANTOS; SOUZA; MORAIS, 2008)

Costa (In Batalha, 1997) definiu esta técnica como “o braço experimental da pesquisa operacional”. Através da simulação é possível desenvolver experimentos num modelo do sistema real, normalmente computacional, analisar o desempenho das alternativas propostas, manipular os valores dos parâmetros, comprimir o tempo e simular um grande intervalo de tempo em segundos.

Estes procedimentos evitam gastos desnecessários, além de economizar tempo e viabilizar tratamentos em situações de alta complexidade, permitindo, através da simulação, a reprodução do funcionamento de um sistema com o auxílio de um modelo, permitindo assim, testar algumas hipóteses sobre o valor das variáveis controladas. Isto é muito utilizado nos processos industriais, pois permite ensaios que poderiam comprometer a segurança das pessoas ou a preservação do meio ambiente.

Atualmente com o avanço da informática, é possível fazer simulações de processos no meio virtual no qual você pode identificar problemas e prevenir riscos. Nas indústrias, onde os processos de produção empregam diversas atividades, envolvendo prioritariamente, aspectos de prazo, transporte, qualidade, custos e segurança, estes estudos em geral são realizados no âmbito da logística. Desta forma, as soluções de otimização podem advir da utilização de recursos como os da simulação. (ARAUJO, 2009 apud LEIGUS et. al, 2009).

2.5.4 Teoria das Filas

Um sistema de filas (conjunto de usuários, atendentes e ordem de atendimento) é um processo de nascimento-morte com uma população composta de usuários esperando para serem atendidos e sendo atendidos. Um nascimento ocorre quando um usuário chega ao estabelecimento de uma prestação de serviço, e a morte ocorre quando o mesmo deixa o estabelecimento. (BRONSON, 1985)

Segundo Araujo (2009) apud Leigus et. al, (2009). “[...] o sistema de filas é caracterizado por quatro componentes: processo de chegada, processo de atendimento, disciplina nas filas e capacidade do sistema”.

2.5.5 Análise de Decisões

Normalmente as tomadas de decisões são baseadas em previsões, a partir da definição da probabilidade de ocorrência de eventos futuros. De acordo com Bronson (1985) o “processo de decisão é aquele que requer único ou diversos conjuntos de decisões para sua composição. Cada decisão possível tem um ganho ou perda a ele associado, o qual é determinado por circunstâncias externas ao processo”.

Para Andrade (2002) “uma decisão apresenta elevada qualidade quando, de modo eficaz e efetivo, garante o alcance dos objetivos preestabelecidos, para os quais os meios e os recursos foram reservados”. Para o autor, o processo de tomada decisão é sequencial, abrangendo aspectos quantitativos e qualitativos, exigindo muita criatividade e imaginação, sendo que atualmente o administrador conta com um vasto instrumental para auxiliá-lo.

Alguns critérios, tais como o minimax, otimista ou mediano, são usados, respectivamente, para relacionar a decisão que minimiza o máximo possível às perdas; escolher a decisão que maximiza o possível ganho ou então para selecionar a decisão na qual a média dos ganhos máximo e mínimo seja maior possível. (BRONSON, 1985).

2.5.6 PERT/CPM

Segundo Rocha; Raggi; Santos (2005) as técnicas denominadas Técnica de Avaliação e Revisão de Programas (Program Evaluation and Review Technique - PERT) e o Método do Caminho Crítico (Critical Path Method - CPM) foram:

“criadas para o desenvolvimento e controle de projetos, e podem ser utilizadas em vários setores como: Construção civil, Projetos de Engenharia, Pesquisa e Desenvolvimento de um Produto, Produção de Filmes e Construções de Navios”. Tais técnicas utilizam-se principalmente de gráficos e alguns conceitos de redes.

Segundo Albernaza (2009) apud Leigus et. al, (2009) o Método do Caminho Crítico (Critical Path Method - CPM) é usado basicamente:

“para determinação do tempo total de projetos e também usado para determinar o máximo atraso de tempo de cada atividade de forma a não influir no tempo total do projeto”.

Já a Técnica de Avaliação e Revisão de Programas (Program Evaluation and Review Technique - PERT), ainda segundo o mesmo autor é usado quando:

“à duração das atividades ainda não é conhecida com exatidão, sendo usado para determinar a probabilidade de o projeto ser concluído em um dado período de tempo”.

Ou seja, pode-se dizer que a programação das tarefas na Técnica de Avaliação e Revisão de Programas (Program Evaluation and Review Technique - PERT) consiste em determinar em que tempo uma tarefa deve começar e terminar.

2.5.7 Planejamento (Scheduling)

A Programação da Produção é o conjunto de funções de tomada de decisão sobre alocação de recursos e sequenciamento de tarefas no tempo, para que o Plano Mestre de Produção (PMP) seja atendido, ou seja, visa determinar um programa de produção que atenda ao PMP, considerando a capacidade existente, as restrições técnicas de produção e o registro de controle de estoques.

Segundo Tubino (2000) e Correa et al. (2001) apud Leigus (2009), o Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP) realiza a atividade de Programação da Produção, que consiste em decidir quais atividades produtivas (ordens/instruções de trabalho, ou seja, tarefas) detalhadas devem ser feitas, quando (momento de início ou prioridade) e com quais recursos para atender a demanda, informada e formalizada através no PMP.

Com o objetivo de desenvolvimento e aplicação de métodos, a teoria de Planejamento (Scheduling) trata dos problemas de Programação da Produção, e

esses métodos visam a “melhor programação dos trabalhos que competem por recursos comuns” (COSTA, 1997).

2.6 Grande Volume de Dados (Big Data)

De acordo com Lobo, L.C. (2017), a capacidade de armazenar dados aumentou de forma exponencial nas últimas décadas, passando por diversos meios, inicialmente físicos, como o armazenamento em fitas magnéticas e discos rígidos, passando pela armazenagem através da internet em sistemas de grande capacidade (warehouses) e, nos dias atuais, em redes de computação em nuvens (Cloud), transformando o armazenamento de dados gigantesco, levando ao conceito de grande volume de dados (Big Data).

Segundo Melo, Gabriel (2020), a maior contribuição de um Big Data não está nos dados em si, mas na capacidade de manipulá-los de forma analítica. Os dados estão disponibilizados e a todo momento são coletados de diversas formas e sua quantidade e possibilidades são infinitas, rompendo com os métodos tradicionais de análise, ou seja, trabalhar com Big Data implica em buscar padrões e correlações que podem não nos dizer por que algo está acontecendo, mas sim nos alertar que isso está acontecendo (MAYER-SCHÖNBERGER; CUKIER, 2014 apud Melo, Gabriel, 2020).

Esse grande volume de dados (Big Data) pode ser definido como 3Vs (**Volume**, **Variedade** e **Velocidade**), e são gerados, armazenados, processados e analisados pelas organizações (RUSSOM, 2011; ZIKOPOULOS; EATON, 2011 apud Melo, Gabriel, 2020).

Taurion (2012) apud Melo, Gabriel (2020) acrescenta nessa definição o conceito de **Veracidade** que diz respeito ao grau de certeza de que estes dados fazem sentido e são autênticos e o **Valor** que estes dados agregam, uma vez que a organização que implementa projetos que fazem uso de grande volume de dados visa um retorno positivo sobre estes investimentos, ou seja: 5 V's, representado na Figura 2.11, e que pode ser definido a partir da seguinte expressão:



Figura 2.11 Os 5Vs do “Big Data” (Fonte: Adaptado de Taurion (2012) apud Melo, Gabriel, 2020)

A utilização de Big Data tem aplicação em diversos seguimentos, como indústria, comercio eletrônico, agropecuária, agricultura, etc., e, no campo da medicina.

Segundo Lobo, L. C. (2017), o grande volume de dados (Big Data) está sendo gradualmente introduzido no sistema de atenção à saúde, onde dados de prevalência, incidência e evolução de enfermidades permitiriam gerar dados estatísticos, antecipar surtos epidemiológicos e prescrever ações preventivas, sendo necessária a integração de diferentes sistemas de registro eletrônico de dados que possuem processos de integração e pesquisa em diferentes bases de dados.

Para a medicina, este problema está sendo tratado e a busca da informação científica tende a ser padronizada, dado que a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Instituto de Saúde dos EUA (NIH) desenvolveram padrões, como a Classificação Internacional de Doenças (CID) e a International Health Terminology Standards Development Organization (Snomed).

Lobo, L.C. (2017) afirma que a utilização de Big Data agregam informações sobre saúde, determinantes genéticos de doenças, estudos de órgãos, células, moléculas, e até átomos, de mecanismos de transcrição e repressão do DNA e como

modificá-los, de proteínas e metabólitos e a interação de indivíduos com o ecossistema ensejam um conhecimento de possíveis agravos à saúde do indivíduo e da população e como controlá-los e resolvê-los e que um volume muito grande de informações médicas (80% segundo a IBM) já está armazenado nos bancos de dados do Watson, supercomputador da empresa que é hoje usado em um grande número de instituições de saúde dos EUA.

Melo, Gabriel (2020) afirma que pesquisas na internet e redes sociais, como Facebook, já utilizam o grande volume de dados (Big Data) para várias aplicações, entre elas, para prever a liquidez do mercado de ações e para construir índices de sentimento que preveem a atividade do mercado de ações.

2.7 Data Analytics e Data Science

2.7.1 Análise de Dados (Data Analytics)

Irani, Zahir (2016) afirma que com o crescente repositório de grande volume de dados (Big Data) torna-se extremamente importante para as organizações dar sentido a esses dados e informações, e é aqui que a “análise de dados – data analytics” tem um papel fundamental.

Muitas organizações já vêm utilizando análise de negócios para automatizar sua tomada de decisão geraram resultados mais produtivos, como desempenho, compreensão aprofundada do comportamento do consumidor, melhor planejamento e previsão, experimentando retornos mais elevados sobre o patrimônio líquido (ou valor se no setor público), e permitindo que as organizações operem com mais eficiência e permaneçam à frente da concorrência (Russom, 2011; Sagiroglu e Sinanc, 2013 apud Irani, Zahir 2016).

Dentro do contexto de tecnologia e gerenciamento de recursos organizacionais, grande volume de dados (Big Data), e “análise de dados – data analytics” têm o potencial de facilitar a tomada de decisão mais sofisticada com base em dados para processos de negócios em tempo presente/imediato e novas maneiras de organizar e gerenciar dados.

2.7.2 Ciência de Dados (Data Science)

Para Bufrem, Leilah et al, 2016,

“a forma de fazer ciência tem sido transformada ao longo dos anos e é perceptível que num círculo de inter-relações, existe um constante e dinâmico processo de influência mútua entre a ciência e as tecnologias utilizadas nas diversas rotinas do fazer científico. Estas mudanças foram potencializadas a partir dos avanços das tecnologias de informação e comunicação, em particular das redes computacionais”.

Estes avanços se revelaram cada vez mais concretos a partir de iniciativas, como a introdução da Ciência Orientada a Dados (COD), em 2001 por William S. Cleveland, através da implementação da disciplina: Ciência de Dados (Data Science), que se relaciona ao campo da Estatística, incorporando outras temáticas, tais como pesquisas multidisciplinares, modelos e métodos para dados, computação de dados, pedagogia, ferramenta de avaliação e teoria. (CLEVELAND, 2001 apud Bufrem, Leilah et al, 2016).

2.8 Cadeia de Suprimentos (Supply Chain)

Desde seu surgimento, a Cadeia de Suprimentos (Supply Chain) tem sido muitas vezes confundida com o conceito de Logística, seja na indústria, na consultoria ou na academia. Cooper et. al. (1997) relatam que executivos de cooperações líderes em seus segmentos e que tem implementado o estado-da-arte em gerenciamento da Cadeia de Suprimentos entendem que ela abrange um escopo maior de processos e funções que a logística.

Chopra e Meindl (2007) apud Steve LeMay et al, (2017) definem a Cadeia de Suprimentos como sendo todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, no cumprimento de uma solicitação do cliente. A mesma deve incluir o fabricante e fornecedores, como também transportadores, armazéns, varejistas e os próprios clientes, ou seja, dentro de cada organização, como um fabricante, além de todas as funções envolvidas no recebimento e preenchimento de uma solicitação do cliente. Essas funções incluem, mas não se limitam a desenvolvimento de novos produtos, marketing, operações, distribuição, finanças e atendimento ao cliente.

Carter et al (2015) apud Steve LeMay et al (2017) abordaram o conceito de Cadeia de Suprimentos, argumentando que a teoria do que está sendo gerenciado deve prevalecer sobre o conceito mais amplo de Gerenciamento de uma Cadeia de Suprimentos.

Os autores usaram uma abordagem de construção de teoria conceitual para identificar seis premissas fundamentais sobre a estrutura e o limite da Cadeia de Suprimentos, descritas a seguir:

1. Rede, composta por nós e ligações;
2. Rede que opera como um sistema adaptativo complexo, onde cada agente lida com a tensão entre controle e emergência;
3. Relativa a um determinado produto e agente;
4. Consiste tanto em uma Cadeia de Suprimentos (Supply Chain) física quanto em uma cadeia de fornecimento de suporte;
5. Limitada pelo horizonte visível do agente focal;
6. Horizonte visível do agente focal está sujeito à atenuação, onde a distância é baseada em fatores como distância física, distância cultural e centralidade de proximidade (Carter et al, 2015 apud Steve LeMay et al, 2017).

Lambert (1998) sugere a classificação dos membros de uma Cadeia de Suprimentos em:

- **Membros primários:** são empresas ou unidades de negócio que executam atividades (operacional o gerencial) que agregam valor ao longo da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain) de determinado produto ou serviço.
- **Membros de apoio:** são empresas ou unidade de negócios que fornecem recursos e conhecimento, suportando os membros primários da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain), mas que não participam diretamente no processo de agregação de valor.

Cabe ressaltar que uma empresa pode, simultaneamente, realizar atividades primárias em um processo de negócios na Cadeia de Suprimentos e de apoio em outro processo, bom como pode executar esses papéis em Cadeias de Suprimentos

distintas. Portanto, a origem de uma Cadeia de Suprimentos é o ponto em que não existem fornecedores primários, mas apenas o apoio, e o seu término é o ponto de consumo, ou seja, o ponto a partir do qual não será criado nenhum valor adicional e o produto e/ou serviço chega ao seu cliente final.

Segundo Bezerra, Filipe (2017) uma Cadeia de Suprimentos existe com a finalidade de integrar de maneira eficaz fornecedores, fabricantes, lojas e consumidores para que a mercadoria seja produzida e distribuída na quantidade ideal, na localização certa e no tempo correto, com o menor custo possível, e uma Cadeia de Suprimentos consiste numa sucessão de manuseios, que a cada etapa agrega valor e reduz custos conforme mostra a Figura 2.12. A velocidade de cada etapa da cadeia é a chave para seu sucesso, uma vez que auxilia na redução de estoques, no baixo custo e na satisfação do cliente.

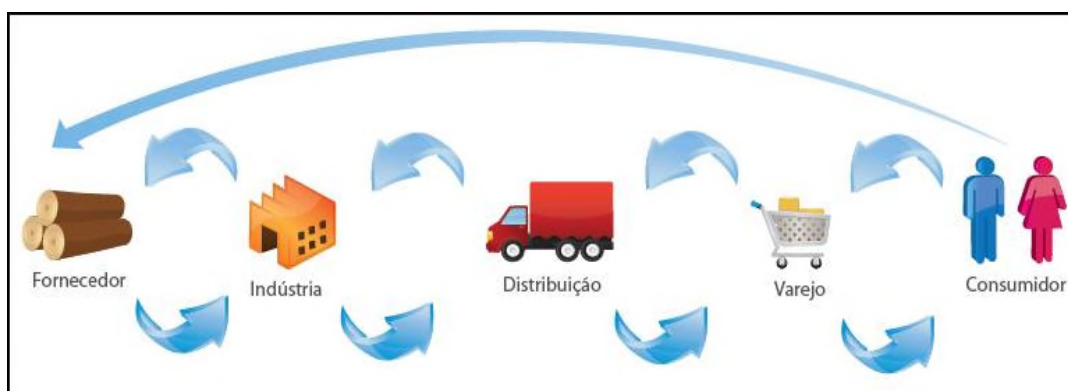


Figura 2.12 Cadeia de Suprimentos (Supply Chain) (Fonte: Bezerra, Felipe - 2017)

Uma Cadeia de Suprimentos se inicia nos produtores, que fornecem insumo aos fabricantes, que finalizam o produto e enviam ao distribuidor, e este por sua vez abastece os varejos para que possam vender aos consumidores. A Tabela 2.2 descreve as atribuições de cada um dos participantes da cadeia (BEZERRA, FILIPE, 2017).

Tabela 2 Atribuições dos Participantes da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain) (Fonte: Compilação pelo Autor, 2021, baseada nos estudos de Bezerra, Filipe (2017))

	Produtor: Primeiro ponto do processo da cadeia de suprimentos. O produtor fornece mercadorias e matérias primas para os fabricantes. Se enquadram no conceito de fornecedor: o fornecedor ou produtor real (participante do processo de fabricação), o produtor aparente (apenas designa a marca ou logo) e o produtor presumido (aquele que importa o produto e o vende sem a clara identificação).
	Fabricante ou Indústria: Tem a finalidade de transformar a matéria-prima fornecida pelos produtores em produtos comercializáveis. No geral, as indústrias são divididas em três grupos: as indústrias de base (matéria-prima bruta e processada), as de bens intermediários (máquinas e equipamentos) e as de bens de consumo (bens duráveis, semi-duráveis e não duráveis).
	Distribuidor ou Logística: A logística é a parte da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo dos bens, serviços e informações, realiza toda a movimentação, desde o ponto de origem até o ponto de consumo. A distribuição física está ligada à movimentação do produto, enquanto o canal de distribuição está ligado à intermediação do produto. Essa etapa consiste nas operações de transporte e entrega dos produtos, visando suprir a escassez dos pontos de venda (varejos). A distribuição de uma mercadoria é feita por um transportador, que possui como principal foco o nível de serviço.
	Varejista: É a venda do produto em pequenas quantidades. O varejo é a venda direta ao comprador final, consumidor do produto, sem a existência de um intermediário.
	Consumidor ou Cliente Final: É aquela pessoa que tem acesso a várias opções de escolha de produtos. Pode ser considerado consumidor qualquer pessoa que visite ou procure um estabelecimento com algum interesse em adquirir produtos.

Segundo Bezerra, Filipe (2017), um dos objetivos básicos da Cadeia de Suprimentos é maximizar as potenciais sinergias entre as principais partes da cadeia produtiva, visando otimizar o atendimento ao consumidor final e tornando o sistema mais eficiente como um todo.

A Cadeia de Suprimentos busca intensificar os benefícios da integração, fazendo com que as decisões saiam da perspectiva de uma única empresa, e passem a fazer parte da cadeia produtiva. Essa metodologia moderna ajuda a sincronizar as atividades de produção, reduzindo custos, minimizando ciclos e maximizando o valor percebido pelo cliente, consequentemente a Cadeia de Suprimentos é uma estratégia singular quanto a obtenção de vantagem competitiva ao negócio.

É importante lembrar que a comunicação é um fator chave para a manutenção de uma Cadeia de Suprimentos, uma vez que ela não envolve apenas a

movimentação de produtos físicos, mas também de informações essenciais entre as empresas participantes. O fluxo de informação pode seguir através de dois caminhos distintos: do fornecedor ao cliente e também do cliente para o fornecedor (BEZERRA, FILIPE, 2017).

2.9 Conclusões

Neste capítulo realizou-se o trabalho de revisão bibliográfica através de pesquisa de artigos científicos nas principais bases de dados abordando os temas de pesquisa relacionados com o desenvolvimento dessa Dissertação de Mestrado, destacando os conceitos de Revolução Industrial e Transformação Digital, Indústria 4.0, Pesquisa Operacional e Inteligência Artificial (IA), Big Data e Cadeia de Suprimentos (Supply Chain).

No próximo capítulo deste trabalho será enfatizado o tema central deste trabalho que é Suprimentos 4.0, utilizando ferramentas de Pesquisa Operacional, Inteligência Artificial (IA), e Big Data disponíveis numa empresa, aplicadas a cadeia de Suprimentos.

3 SUPRIMENTOS 4.0

Neste capítulo são apresentadas a utilização de ferramentas da Pesquisa Operacional (PO) e Inteligência Artificial (IA), utilizando grandes volumes de dados (Big Data) disponíveis numa empresa aplicadas a cadeias de suprimentos (Supply Chain), onde a integração entre os elos da Cadeia de Suprimentos é um dos pontos essenciais para a eficiência da Gestão da Cadeia de Suprimentos.

3.1 Introdução

A utilização de ferramentas da PO, IA e Big Data aplicadas à Cadeia de Suprimentos são requeridas para atender as necessidades geradas por duas grandes mudanças mundiais:

1. A I4.0, com o surgimento de ferramentas de IA, tais como, Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), Big Data, Computação em Nuvem (Cloud), robôs autônomos, simulação, entre outros, que possibilitam que produtos e dispositivos inteligentes possam se comunicar e interagir uns com os outros (IoT), coletar e avaliar dados imediatamente após sua disponibilização para otimizar os custos e a qualidade da produção de grande volume de dados e Análise de Dados (Data Analytics), ter robôs com maior autonomia e flexibilidade e a utilização de técnicas avançadas de fabricação.

2. A globalização, que aproximou os fornecedores e os clientes que estão localizados ao redor do mundo, mas impôs a exigência da procura por maior eficiência e redução de custos para melhorar a competitividade, que exige agilidade nos processos.

Para uma melhor utilização de ferramentas da PO e IA, associadas a um grande volume de dados aplicados na Cadeia de Suprimentos, deu-se origem à área de conhecimento Suprimentos 4.0, que engloba, além do conceito de Cadeia de Suprimentos, um detalhamento de aspectos de gestão associada a PO, IA e Big Data aportando um importante impacto deste cenário as estratégias de Suprimentos, de

sistemas de informação (SI) e finalmente de aplicativos (softwares) especializados na integração de toda a Cadeia de Suprimentos.

É importante destacar que a Cadeia de Suprimentos inclui atividades como as de compras, planejamento, fabricação, estoque e distribuição de produtos ou serviços, e, entre estes agentes, tem-se o “Distribuidor ou Logística”, que têm um papel central neste processo, sendo o responsável pelo planejamento, implementação e controle do fluxo dos bens, serviços e informações, pela realização de toda a movimentação, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, ou seja, que consiste nas operações de transporte e entrega dos produtos. A Figura 3.1 mostra o papel central do agente “Distribuidor ou Logística”.



Figura 3.1 Cadeia de Suprimentos (FAIAS, 2021)

Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos de Suprimentos 4.0 e do agente “Distribuidor ou Logística” da Cadeia de Suprimentos, a aplicação das ferramentas da PO e IA e Big Data na Cadeia de Suprimentos, e no próximo capítulo estes conceitos serão exemplificados através de dois estudos de casos, com foco no agente “Distribuidor ou Logística” da Cadeia de Suprimentos.

3.2 Estrutura de Suprimentos 4.0

O termo **Suprimentos 4.0** pode ser atribuído pelo potencial de integração das tecnologias estabelecidas na I4.0 com a área de Suprimentos, como uma área com identidade própria e com grande potencial para aplicação e integração de tecnologias (BUENO et al., 2018).

Martinez (2019), em analogia ao conceito de I4.0 propõe uma estrutura de Suprimentos 4.0 que se concentram em seis pilares:

1. Nova proposta de valor de aquisições
2. Categoria digital e suprimento de serviços
3. Gerência de suprimentos e gerenciamento de fornecedores digitais
4. Aproveitamento de dados de aquisições inovadoras
5. Processos e ferramentas digitais
6. Organização e capacidades.

Segundo Bueno et al. (2018), esse contexto tecnológico é formado pela Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) e Internet dos Serviços (Internet of Services - IoS), que conectam a indústria interna e externamente com uma rede mundial de serviços, enquanto a operação industrial se torna "inteligente", apoiada pelos sistemas Cyber-físicos.

A gestão da Cadeia de Suprimentos, por sua vez, é destacada, como as interações que ocorrem desde as funções de marketing até a produção no âmbito de uma empresa e, dessas mesmas interações, entre empresas legalmente separadas no fluxo de produtos, com os seguintes processos:

- **Logística:** é a parte mais tangível da rede de suprimentos. Através dela visualizam-se inúmeros processos capazes de otimizar resultados e desenvolver vantagens competitivas, eliminando lacunas entre a produção e a demanda. Planejamento, organização e controle efetivo das atividades de movimentação, seja ela de recebimento, movimentação interna ou expedição, são atividades essenciais que visam facilitar o fluxo de produtos. Conceitua-se logística como a área que planeja, implementa e controla e organiza, a armazenagem, transporte e distribuição de bens e serviços de qualquer tipo, buscando a redução de custos e a otimização plena dos recursos humanos e materiais. O fluxo logístico será muito mais eficiente se houver um planejamento estratégico, com visão total da cadeia (ibid.).
- **Compras:** a função de compras é estabelecer contratos com fornecedores para adquirir materiais e serviços. Alguns desses materiais e serviços são utilizados na produção de bens e serviços vendidos aos clientes.
- **Demanda:** a previsão de demanda é um processo racional de busca de informações acerca do valor das vendas futuras de um item ou de um conjunto de itens. Tanto quanto possível a previsão deve fornecer também informações sobre a

qualidade e a localização (lugar onde serão necessários) dos produtos no futuro. A demanda está baseada em histórico anterior ou pesquisa de mercado, e seu planejamento é fundamental, para evitar desabastecimento.

- **Armazenamento:** é a denominação genérica e ampla que inclui todas as atividades de um ponto destinado a guarda temporária e para distribuição de materiais (depósitos, almoxarifados, centros de distribuição) e estocagem é uma das atividades do fluxo de materiais no armazém e o ponto destinado à locação estática dos materiais. Dentro de um armazém podem existir vários pontos de estocagem. A estocagem é uma parte da armazenagem.

3.3 Gestão da Cadeia de Suprimentos

Ross (2011) explica a Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management - SCM) por meio de três diferentes perspectivas:

- **Perspectiva tática:** considera a Gestão da Cadeia de Suprimentos como sendo uma técnica que busca aperfeiçoar as capacidades operacionais da empresa para buscar oportunidades de redução de custos e aumento da produtividade nas relações com seus clientes e fornecedores.
- **Perspectiva estratégica:** a Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management – SCM) tem como foco influenciar os parceiros da cadeia a realizarem esforços para aprimorar processos logísticos e estabelecer parcerias com eles a fim de integrar processos relacionados, agregando um valor ao produto.
- **Perspectiva tecnológica:** garante às Cadeias de Suprimentos os meios para concretizar as possibilidades estratégicas previamente desenhadas.

3.4 Ferramentas da Cadeia de Suprimentos

Dentre as principais ferramentas que caracterizam o conceito de Suprimentos 4.0 pode-se destacar as relacionadas a aplicativos/software de integração da Cadeia de Suprimentos, as utilizadas pelo comércio eletrônico (Omnichannel) e as ferramentas de proteção para a Interoperabilidade e Rastreabilidade (Blockchain), que serão descritas a seguir.

3.4.1 Integração ERP

Existem soluções essenciais para o gerenciamento da Cadeia de Suprimentos responsáveis por diferentes etapas ou áreas dentro da cadeia, fornecendo apoio e automatizações que auxiliam as equipes. O ERP - Enterprise Resource Planning (Planejamento de Recursos Empresariais), ilustrado na Figura 3.2, é um exemplo de ferramenta de integração destas soluções.



Figura 3.2 Integração ERP (Fonte: BRAOL TECNOLOGIA, 2021).

Pode-se citar outros exemplos de integração de soluções descritos a seguir:

- Gerenciamento de Armazenamento (Warehouse Management System - WMS);
- Gerenciamento de Transporte (Transportation Management System - TMS);
- Identificação por Rádio Frequência (Radio Frequency Identification - RFID);
- Gerenciamento Logístico (Logistic Management System - LMS);
- Gerenciamento de Frete (Freight Management System - FMS);
- Gerenciamento de Pedidos (Order Management System - OMS).

3.4.2 Omnichannel (Comercio Eletrônico)

Nos últimos anos, vêm-se observando um forte crescimento do comércio eletrônico em detrimento do padrão tradicional, baseado em vendas físicas, onde cada vez mais o consumidor moderno viu-se obrigado a acelerar a tendência em realizar compras online, criou o conceito de Omnichannel (Figura 3.3).

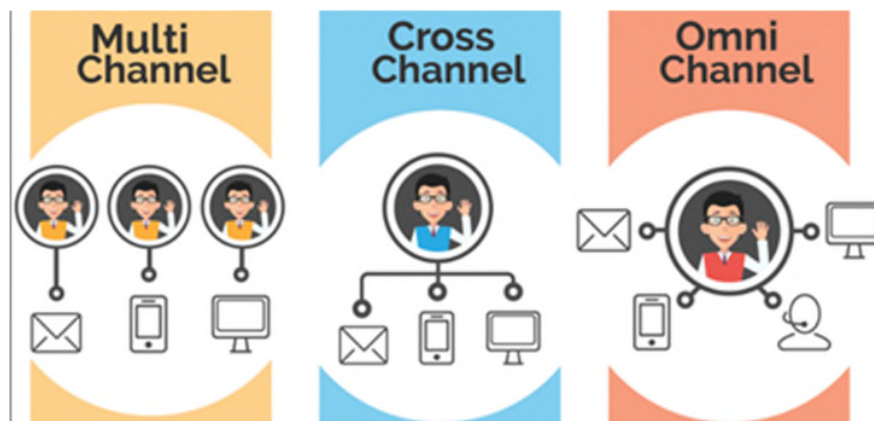


Figura 3.3 Omnichannel – Comércio Eletrônico (Fonte: G. RAFAEL, 2021)

Dentro do contexto atual, a forte tendência acelerou ainda mais pela pandemia COVID-19, exigindo uma adaptabilidade de empresas para atender as novas demandas da sociedade.

No contexto industrial já se percebe o uso de estratégias de omnichannel para ofertar produtos às empresas, isso a partir de ferramentas de comércio eletrônico (e-commerce) focados na relação de negócios entre indústria e clientes pessoa jurídica.

O consumidor pode negociar por meio de representantes comerciais ou fazer compras online. O omnichannel também viabiliza a integração entre ambos os modelos.

3.4.3 Interoperabilidade e Rastreabilidade (Blockchain)

Esta tecnologia se propõe a funcionar como uma espinha dorsal para a tecnologia digital da Cadeia de Suprimentos, possibilitando a interoperabilidade e a rastreabilidade por meio de ambientes de fácil interação homem-máquina e customizáveis, conforme mostra a Figura 3.4.

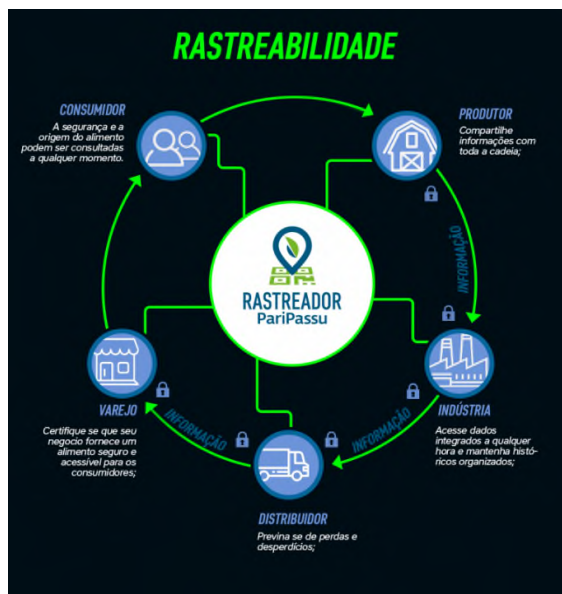


Figura 3.4 Blockchain (Fonte: SANTO, BARBARA ESPÍRITO, 2021)

Esta tecnologia permite o registro de todos os dados e informações de um produto, desde sua origem até o seu destino, bem como detalhes do processo de produção, e num futuro próximo, espera-se utilizar esse recurso para a efetivação de trocas, acordos, gestão de contratos, rastreamento e pagamentos por meio de redes comerciais robustas e escaláveis no Blockchain.

3.5 Impactos nas Estratégias de Suprimentos

Para Covaci (2018) as questões identificadas na era de Suprimentos 4.0 sugerem futuras direções possíveis de pesquisa que levariam à aproximação da tecnologia digital da Cadeia de Suprimentos no contexto da I4.0.

A Cadeia de Suprimentos digital representa o núcleo da I4.0, e é fundamental para a realização das principais operações de toda empresa de fabricação ou distribuição. Para a maioria das empresas, o negócio depende da Cadeia de Suprimentos.

A tecnologia digital das Cadeias de Suprimentos requer algoritmos inteligentes e eficientes capazes de incorporar a complexidade dos cenários reais e estabelecer os novos processos de ponta a ponta que conectam fornecedores e clientes (ibid.).

Para Martinez (2019), a era da tecnologia digital evidencia a necessidade do gerenciamento de processos de negócios para desenvolver a tecnologia digital. A tecnologia não é o objetivo, mas a excelência em instrumentos e processos é o condutor para introduzir novas tecnologias nas operações.

Abubaker (2018) indica que a tecnologia digital do processo de aquisição pode gerar vários benefícios, dentre eles:

- I. O apoio às tarefas administrativas e de negócios diárias,
- II. O apoio a processos complexos de tomada de decisão,
- III. As aquisições se tornarão mais focadas em decisões estratégicas e
- IV. A atividade de aquisição se tornará uma interface estratégica para apoiar a eficiência organizacional, eficácia, lucratividade e apoio à definição de novos modelos de negócios, produtos e serviços.

Historicamente, o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias para a cadeia de suprimentos estão revolucionando o processo de compras, trazendo maturidade aos processos e crescimento de visão estratégica do negócio, deixando de ser atividades meramente “táticas” para atividades “estratégicas” e, de “gerenciamento de preços” para “gerenciamento de valor”.

De acordo com a empresa de tecnologia TOTVS SA (TOTVS; 2020), uma gestão eficiente da Cadeia de Suprimentos deve considerar seus fluxos internos e externos, isto é, que envolvem os seus parceiros, fornecedores e consumidores e deve contar com a integração de processos entre esses agentes, com troca de informações, para que as Cadeia de Suprimentos de ambos sejam otimizadas e se complementem.

Dentre os principais benefícios da integração pode-se destacar:

1. Transparência de seus processos que começa no fornecedor e termina no cliente;
2. Redução de custos - Estoque, compras, entregas e distribuição, entre outros;

3. Otimização do espaço e de recursos físicos (alocação de prateleiras, estantes e dos corredores entre elas nos armazéns, entre outros);
4. Melhora no atendimento e na entrega do produto ao cliente;
5. Vendas - saber, imediatamente, considerando do processo de fabricação ao de vendas, quais itens estão em estoque e prazo de entrega. (*ibid.*).

3.6 Sistemas de informação (SI)

A era da IA conduz as empresas à urgência de repensarem os seus Sistemas de Informação (SI), seus aplicativos (softwares), ferramentas e processos necessários para acompanhar a utilização de novas tecnologias emergentes.

O'Brien e Marakas (2010), apud Meira, G. B. A. (2017)

“caracterizam os Sistemas de Informação (SI) como sendo qualquer sistema capaz de coletar, armazenar, transformar e disseminar informações em uma organização. Estes sistemas são viabilizados por uma combinação de recursos incluindo pessoas, hardware, software, redes de comunicação, dados, políticas e procedimentos.”

Segundo Stair (1998), apud Meira, G. B. A. (2017) existem diversos tipos de SI, mas destacam-se três grupos:

- (i) Sistemas de Processamento de Transações (SPT) ou Sistemas de Informação Operacional (SIO),
- (ii) Sistemas de Informação Gerenciais (SIG), e
- (iii) Sistemas de Apoio à decisão (SAD) ou Sistemas de Informação Estratégicos (SIE).

Laudon e Laudon (2014) apud Meira, G. B. A. (2017) incluem nesta lista os sistemas de Inteligência Empresarial (BI).

Para Cavusgil, Kim (2009) apud Vilela, B. A. et al. (2016)

“A atualização dos sistemas de informação se refere à aplicação dos recursos mais avançados existentes para o aprimoramento dos relacionamentos das Cadeia de Suprimentos. É esperado que organizações aumentem suas eficiências em atividades e processos por meio de sistemas de informação mais avançados que os competidores”

Segundo Simatupang, Wright e Sridharan (2002), apud Vilela, B. A. et al, (2016)

“a assimetria de informações é algo inerente às Cadeias de Suprimentos. A coordenação da coleta, processamento e disseminação da informação entre seus membros, deve ser acompanhada de um preparo das informações disponíveis de modo a se alcançar melhores níveis de desempenho operacional e financeiro.”

“O compartilhamento de informações é o primeiro e mais óbvio resultado da adoção de tecnologia da informação em Cadeias de Suprimentos. Ele pode ser definido como a habilidade de uma firma em compartilhar conhecimento com os seus parceiros de forma eficiente e efetiva. O processo de compartilhamento de informações inclui todo tipo de informação: operacionais, táticas e estratégicas. Indicadores de compartilhamento de informações”.

Segundo Ghobakhloo, Tang (2014) apud Vilela, B. A. et al, (2016)

“A TI tem um papel importante em potencializar o compartilhamento de informações e o desempenho da Cadeia de Suprimentos, uma vez que disponibiliza ferramentas como internet, intranet, softwares específicos e sistemas de apoio a decisões”.

3.7 Softwares para Integração

Segundo o portal de busca de softwares B2B Stack (B2B Stack c;2021), softwares são ferramentas que possuem o objetivo de realizar a gestão de todas as operações associadas à organização interna e externa de uma empresa, garantindo coordenação e integração entre todos os componentes da cadeia, como fornecedores, estoques, consumidores e prestadores de serviço. Os softwares para a Cadeia de Suprimentos podem ser classificados em diferentes categorias que serão detalhadas a seguir.

3.7.1 Gestão de suprimentos

Os softwares para gestão de suprimentos ajudam no processo de compra e fazem o gerenciamento de todas as atividades relacionadas às despesas de uma empresa. Assim, é possível a emissão de pedidos de compra sujeitos a avaliação e aprovação de gerentes. Na Tabela 3.1 são apresentados alguns softwares desenvolvidos para a Gestão de Suprimentos.

Tabela 3.1 Softwares para Gestão de Suprimentos (Fonte: Compilação pelo Autor baseada em B2Sctack, 2021)

Aplicação	Software	Fabricante	Publico Indicado	Descritivo
Gestão de suprimentos	Oracle Supply Chain Planning Cloud	Oracle http://www.oracle.com	Empresas que já possuem a ferramenta Supply Chain anagement Cloud.	O Oracle Supply Chain Planning Cloud é um componente integrante de uma solução de nuvem de gerenciamento de cadeia de suprimentos ponta a ponta, projetada para manter o planejamento e a execução da cadeia de suprimentos sincronizados.
Gestão de suprimentos	iSpec	Remy InfoSource http://www.remy-is.com/	Não informado	A integração das funções de gerenciamento de projetos, tecnologia e compras em uma unidade integrada pode melhorar o desempenho, alcançando melhor controle, redução de custos do projeto e a oportunidade de obter liderança de desempenho por meio da tecnologia.
Gestão de suprimentos	VMI	Neogrid https://www.neogrid.com/br/solucoes-neogrid	Setores de estoque em empresas de diversos segmentos de mercado	VMI é um software que a partir dos dados de estoque e vendas do varejo e/ou distribuidor, o fornecedor (indústria) gerencia seus produtos e é responsável pela reposição de estoques nos Pontos de Venda.
Gestão de suprimentos	DRP Neogrid	Neogrid https://www.neogrid.com/br/solucoes-neogrid	Gestão de estoque em empresas distribuidoras de diversos segmentos de produtos	O módulo DRP simplifica os processos que tornam a reposição complexa. Todas as variáveis e os diversos cálculos para saber o tempo de entrega exato e as distâncias entre as lojas, por exemplo, são processados automaticamente pela ferramenta.
Gestão de suprimentos	Visor Direto	Neogrid https://www.neogrid.com/br/solucoes-neogrid	Empresas de logística e cadeia de suprimentos	A solução coleta dados de mais de 40 mil lojas e, com inteligência artificial, entrega informações para a indústria acompanhar o sell-out, planejar ações de venda, aumentar o giro estoque, criar promoções e detectar novas oportunidades de negócio.
Gestão de suprimentos	VIASOFT FORLOG	VIASOFT Softwares Empresariais https://viasoft.com.br/	Empresas do ramo logístico que desejam melhorar o planejamento do seu estoque, possibilitando a otimização de custos e a eliminação de gargalos na operação.	VIASOFT FORLOG é resultado da combinação do poder da tecnologia com as melhores práticas que elevam a confiabilidade, otimizam recursos e minimizam riscos envolvidos na gestão da cadeia de suprimentos.

3.7.2 Expedição e Frete

Sistemas de expedição e frete automatizam e auxiliam na gestão e rastreamento de entregas com frete. Este tipo de sistema pode ser utilizado por transportadoras, empresas de importação e exportação, consolidadores e empresas de remessa. Entre os principais recursos estão o rastreamento das entregas, encaminhamento, alfândega, cobrança, cotação, além de roteamento. Na Tabela 3.2 são identificados alguns softwares desenvolvidos para expedição e frete.

Tabela 3.2 Softwares para Expedição e Frete (fonte: Compilação pelo autor baseada em B2Sctack, 2021)

Aplicação	Software	Fabricante	Publico Indicado	Descritivo
Expedição e frete	BQUADRO	ST https://www.bquadro.st	Para empresas B2B	O BQUADRO Sales é uma plataforma de e-commerce B2B. A ferramenta traz funcionalidades como gerenciamento de envios e pedidos. Além disso, é possível gerir produtos e estoque.
Expedição e frete	Visor Direto	Neogrid https://www.neogrid.com.br/solucoes-neogrid	Empresas de logística e cadeia de suprimentos	A solução coleta dados de mais de 40 mil lojas e, com inteligência artificial, entrega informações para a indústria acompanhar o sell-out, planejar ações de venda, aumentar o giro estoque, criar promoções e detectar novas oportunidades de negócio.
Expedição e frete	SAGA WMS ADVANCED	Saga Tecnologia www.sagatecnologia.com.br	Ideal para gestão e automação de processos logísticos de Indústrias,	O SAGA WMS é um sistema especialista de gerenciamento logístico automatizado para: Indústrias, CD's e Operadores Logísticos.
Expedição e frete	Oracle Product Lifecycle Management Cloud (PLM)	Oracle http://www.oracle.com	Ideal para empresas que buscam por uma ferramenta de gerenciamento de ciclo de vida do produto (PML).	O PLM não é mais uma disciplina oculta na garagem do engenheiro de produto. Dado o complexo ambiente de negócios de hoje, as empresas modernas procuram uma nova abordagem para melhorar rapidamente as funções de desenvolvimento de produtos e integrá-las em toda a cadeia de suprimentos de ponta a ponta.
Expedição e frete	Oracle Global Trade Management Cloud	Oracle http://www.oracle.com	Ideal para empresas que buscam por uma ferramenta para gerenciar necessidades de armazenamento e modos de transporte.	O Oracle Global Trade Management Cloud gerencia todas as necessidades de armazenamento e modos de transporte dentro e fora das fronteiras para reduzir custos, aumentar a eficiência e garantir a conformidade.
Expedição e frete	Oracle Transportation Management Cloud	Oracle http://www.oracle.com	Ideal para empresas que realizam transporte de mercadorias.	O Oracle Transportation Management Cloud permite que as empresas controlem e reduzam custos, otimizem os níveis de serviço, apoiem a iniciativa de sustentabilidade e criem automação flexível de processos de negócios em suas redes de transporte e logística.

3.7.3 Gestão de Entregas

Os softwares para gestão de entregas permitem que as empresas de comércio eletrônico e restaurantes mantenham seus clientes atualizados sobre o andamento, rastreamento e status dos pedidos. Na Tabela 3.3 são identificados alguns softwares desenvolvidos para a gestão de entregas.

Tabela 3.3 Softwares para Gestão de Entregas (Fonte: Compilação pelo autor baseada em B2Sctack, 2021)

Aplicação	Software	Fabricante	Publico Indicado	Descritivo
Gestão de entregas	Find My Pack	Find my Pack www.findmypack.com.br	Qualquer empresa ou pessoa que realize vendas e encaminhe suas encomendas por transportadoras ou Correios	A Find My Pack desenvolveu um software com a principal função de atender ao lojista que venda e envie seus pedidos por transportadoras ou Correios. No painel você encontrará funcionalidades como, andamento do pedido em tempo real, abertura de PI's automático, contato direto com o seu consumidor através do painel da Find My Pack, envio de e-mails de comunicação a cada alteração de status, realizar logística reversa dentro do painel, e muitas outras.
Gestão de entregas	Promob	Promob Software Solutions https://www.promob.com/	Ideal para gestão de estoques de distribuição de imóveis.	O Promob Entrega Certa é um software de entregas para fábrica de móveis feita com a finalidade de organizar e facilitar as demandas da área, podendo ainda ser integrada com qualquer solução de ERP.
Gestão de entregas	MyTracking	Point Sistemas https://www.mytracking.com.br	Equipes de Logística de seja de transportadoras ou embarcadores, que necessitem otimizar e garantir uma melhor performance da sua operação.	O MyTracking é uma plataforma Saas para Gestão Logística, que conta com módulo de Roteirização, Gestão de Entregas, Torre de Controle Logística, Ocorrências, POD (Prova de Entrega), Delivery Express, Monitoramento de Temperatura, entre outras funções especialistas. No processo de evolução continua da plataforma, a Point Sistemas também desenvolve funções específicas para cada cliente, de acordo com o escopo do seu projeto, se adaptando as particularidades de cada negócio.

3.7.4 Gestão Logística

Os softwares de gestão de logística automatizam o armazenamento, transporte, o envio dos produtos e outras funções. Essas ferramentas auxiliam no controle de estoque, armazenamento, compra e recebimento, venda e remessa, leitura de código de barras/RFID e impressão de etiquetas.

Na Tabela 3.4 são identificados alguns softwares desenvolvidos para a gestão logística, ressaltando que não foi possível identificar a viabilidade de sua aplicação, considerando que as informações de preço e implementação dependem da característica de cada cliente, e são analisadas caso a caso pelos fabricantes e fornecedores.

Tabela 3.4 Softwares para Gestão Logística (Fonte: Compilação pelo Autor baseada em B2Sctack, 2021)

Aplicação	Software	Fabricante	Publico Indicado	Descritivo
Gestão de logística	VIASOFT FORLOG	VIASOFT Softwares Empresariais https://viasoft.com.br/	Ideal para empresas do ramo logístico que desejam melhorar o planejamento do seu estoque, possibilitando a otimização de custos e a eliminação de gargalos na operação.	VIASOFT FORLOG é resultado da combinação do poder da tecnologia com as melhores práticas que elevam a confiabilidade, otimizam recursos e minimizam riscos envolvidos na gestão da cadeia de suprimentos.
Gestão de logística	Oracle Supply Chain Collaboration Cloud	Oracle http://www.oracle.com	Ideal para empresas que buscam por uma ferramenta para planejar o fornecimento com seus parceiros, gerenciar atividades de manufatura por contrato e monitorar as mensagens entre empresas.	Use o Oracle Supply Chain Collaboration Cloud para detectar, analisar e resolver interrupções na sua empresa, bem como com seus principais parceiros comerciais. Automatize de maneira inteligente os processos de ponta a ponta para tornar toda a sua cadeia de suprimentos mais eficiente e responsiva.
Gestão de logística	Acess EDI	Accesstage https://site.accesstage.com.br/	Ideal para empresas e profissionais de diversos segmentos.	O Acess EDI é uma plataforma de intercâmbio eletrônico de dados. A ferramenta tem a finalidade de oferecer velocidade na troca de informações e padronização de layout de documentos com segurança entre empresas.
Gestão de logística	BQUADRO	ST https://www.bquadro.st	Para empresas B2B	O BQUADRO Sales é uma plataforma de e-commerce B2B. A ferramenta traz funcionalidades como gerenciamento de envios e pedidos. Além disso, é possível gerir produtos e estoque.
Gestão de logística	EDGE	Jagged Peak http://www.jaggedpeak.com	Para grandes empresas.	A EDGE é uma plataforma corporativa de comércio eletrônico baseada em nuvem que otimiza todo o ciclo de vida do pedido com visibilidade em todas as unidades de negócios e canais de distribuição.
Gestão de logística	Visor Indireto	Neogrid https://www.neogrid.com.br/solucoes-neogrid	Empresas do ramo de distribuição de produtos	O Visor Indireto coleta dados de mais de 6 mil distribuidores e utiliza inteligência artificial para transformá-los em informações estratégicas para as indústrias que são apresentadas por meio de painéis gerenciais intuitivos e podem ser exportadas para Excel.
Gestão de logística	Visor Direto	Neogrid https://www.neogrid.com.br/solucoes-neogrid	Empresas de logística e cadeia de suprimentos	A solução coleta dados de mais de 40 mil lojas e, com inteligência artificial, entrega informações para a indústria acompanhar o sell-out, planejar ações de venda, aumentar o giro estoque, criar promoções e detectar novas oportunidades de negócio.
Gestão de logística	Trade Force	Neogrid https://www.neogrid.com.br/solucoes-neogrid	Empresas de logística e cadeia de suprimentos	O Trade Force permite acompanhar em tempo real as tarefas executadas pelas equipes em campo. Desde rastreamento de rotas e validação nos PDVs até dashboards completos para monitoramento de indicadores.
Gestão de logística	EDI Financeiro	Neogrid https://www.neogrid.com.br/solucoes-neogrid	empresas de diversos segmentos de mercado	O EDI Financeiro realiza a troca de informações de maneira eletrônica com agilidade, segurança e padronização entre sua empresa e instituições financeiras. Com a solução sua empresa terá automatização dos processos e gestão e visibilidade dos dados.
Gestão de logística	EDI Logístico	Neogrid https://www.neogrid.com.br/solucoes-neogrid	Departamentos de logística	EDI Logístico realiza a troca eletrônica de documentos de transporte entre fabricantes, varejos, operadores logísticos e distribuidores. Facilite o processo de comunicação por meio da coleta e transformação de informações, de forma automática e padronizada.

3.7.5 Gestão de Inventários

Softwares que auxiliam empresas no gerenciamento e rastreamento de inventários, compras, vendas e entregas e são utilizados pelas empresas que permitem a identificação e eliminação de possíveis ineficiências em processos. Na Tabela 3.5 são identificados alguns softwares desenvolvidos para a gestão de inventários.

Tabela 3.5 Softwares para Gestão de Inventários (Fonte: Compilação pelo autor baseada em B2Sctack, 2021)

Aplicação	Software	Fabricante	Publico Indicado	Descritivo
Gestão de inventário	Oracle Inventory Management Cloud	Oracle http://www.oracle.com	Ideal para empresas que buscam por uma ferramenta de gerenciamento de produção.	O Oracle Inventory Management Cloud permite que as organizações consolidem seus diferentes sistemas de controle e rastreamento de inventário em uma única solução global de gerenciamento de inventário para material em todas as etapas do produto ou ciclo de vida da produção, bem como para diferentes tipos de negócios.
Gestão de inventário	Webgility	Webgility, Inc. www.webgility.com	Ideal para Empresas e Profissionais do setor Logístico.	Webgility é uma automação de contabilidade e inventário de comércio eletrônico premium projetada para varejistas e marcas que usam QuickBooks ou Netsuite. Execute todo o seu negócio de comércio eletrônico a partir de um único aplicativo. Automatize sua contabilidade e sincronize seus dados
Gestão de inventário	TradeGecko	TradeGecko https://www.tradegecko.com/	Ideal para Empresas de diversos segmentos e de todos os portes.	O TradeGecko é uma plataforma de gerenciamento de inventário, pedidos e cadeia de suprimentos de classe mundial, com um conjunto abrangente de funcionalidades - empacotadas em uma interface intuitiva baseada em nuvem, projetada e estruturada desde o início.
Gestão de inventário	Fishbowl	Fishbowl http://www.fishbowlinventory.com	Ideal para Empresas de todos os segmentos e de todos os portes.	O Fishbowl é o complemento integrado nº 1 solicitado para o QuickBooks e se destaca pela funcionalidade premiada para controle avançado de estoque, fabricação leve e gerenciamento de pedidos.
Gestão de inventário	ShipMonk	ShipMonk www.shipmonk.com	Ideal para Empresas e Profissionais do segmento Logístico.	O ShipMonk é um software de gerenciamento de estoque e serviços de atendimento de pedidos multicanal que permite que as empresas se concentrem em alcançar um crescimento escalável.
Gestão de inventário	Multiorders	Multiorders multiorders.com	Ideal para Empresas e Profissionais do segmento Logístico.	Integre todos os canais de vendas e gerencie seus pedidos com o Multiorders - software de gerenciamento de inventário e expedição multicanal - uma solução perfeita para otimizar o fluxo de trabalho. Conecte todas as suas transportadoras e imprima etiquetas com apenas um clique, gerencie preços e níveis de estoque de todos os canais de vendas no mesmo local.

3.7.6 Gestão de Distribuição

Softwares que auxiliam empresas no gerenciamento e rastreamento de serviços e produtos, vendas e entregas e são utilizados pelas empresas que permitem

a identificação e eliminação de possíveis ineficiências na distribuição. Na Tabela 3.6 são identificados alguns softwares desenvolvidos para a gestão de distribuição.

Tabela 3.6 Softwares para Gestão de Distribuição (Fonte: Compilação pelo Autor baseada em B2Sctack, 2021)

Aplicação	Software	Fabricante	Publico Indicado	Descritivo
Distribuição	CloudSuite Distribution Enterprise	Infor https://www.infor.com/pt-br/	Ideal para empresas do ramo atacadista de médio e grande porte.	O CloudSuite Distribution Enterprise é uma solução em nuvem, projetada para grandes distribuidores atacadistas globais que estejam focados em crescimento, envolvimento do cliente e tenham demandas para serviços estendidos.
Distribuição	Logility Voyager Solutions	Logility www.logility.com	Ideal para Empresas e Profissionais do segmento logístico	O Logility Voyager Solutions é uma solução completa de gerenciamento da cadeia de suprimentos e otimização de varejo que apresenta análises avançadas e fornece visibilidade da cadeia de suprimentos; planejamento de demanda, estoque e reabastecimento; Planejamento de Vendas e Operações (S&OP); Planejamento Integrado de Negócios (IBP); otimização de suprimentos e estoques; planejamento e programação de fabricação; e planejamento e alocação de mercadorias no varejo.
Distribuição	FlowSpace	FlowSpace https://www.flow.space	Ideal para Empresas e Profissionais do segmento logístico.	A FlowSpace fornece armazenamento sob demanda e atendimento de pedidos para empresas de todos os tamanhos. Lidamos com o armazenamento, o transporte e o cumprimento de seu inventário mês a mês, sem espaço mínimo. Os clientes têm acesso a uma rede nacional de armazéns através de uma única plataforma fácil de usar.
Distribuição	3PL Central	3PL Central http://www.3plcentral.com	Ideal para Empresas e Profissionais do segmento logístico.	O 3PL Central fornece as soluções WMS baseadas em nuvem mais populares disponíveis no mercado de logística e armazenamento de terceiros. Especificamente projetados para atender às necessidades exclusivas das operações de armazenagem de alta tecnologia atuais, nossos produtos ajudam nossos clientes a aumentar suas vendas, otimizar suas operações e melhorar a satisfação de seus clientes - ao mesmo tempo em que expandem a lucratividade geral. De fato, nosso software ajudou nossos clientes a crescer uma média de 22% ano a ano.
Distribuição	3Gtms	3Gtms, LLC http://www.3gtms.com	Ideal para Empresas e Profissionais do segmento logístico.	A maioria dos softwares de sistemas de gerenciamento de transporte (TMS) foi projetada em um momento em que categorias organizadas de corretores, fornecedores de logística gerenciada de transporte terceirizado (3PLs) e remetentes ainda existiam, mas essas faixas estavam quebrando. Os 3PLs estão adicionando corretagem, os corretores estão adicionando serviços de transporte gerenciado e os remetentes estão adicionando frotas.
Distribuição	ChannelApe	ChannelApe www.channelape.com	Ideal para Empresas e Profissionais do setor logístico.	Simplifique com nossas integrações comerciais pré-criadas: conecte sistemas, sincronize dados, automatize processos, amplie seus negócios. * Gerenciamento de inventário * Liste produtos em vários canais de um único catálogo. * Gerenciamento de pedidos * Sincronize pedidos de todos os canais no ChannelApe. Integração com ERP Conexões personalizadas para manter sincronizada sua única fonte de verdade. * Taxa de compras * Certifique-se de sempre enviar o melhor método de envio. * Integração WMS * Envie pedidos ao armazém para informações sobre remessa e entrega. * EDI nativo * EDIFACT, X12, IDoc (SAP), XML e muitos outros formatos. * Suporte B2B * Expanda seu mercado e conecte-se a parceiros de alto volume. * API aberta * APIs REST simples para estender a plataforma para fazer o que você precisar.

3.7.7 Gestão de Estoques

Ferramentas que auxiliam a gestão dos recursos materiais que podem ajudar a organização a gerar sua receita futura. Empresas que atuam como fabricantes ou montadoras, voltadas para a produção de bens, dependem fortemente de um estoque bem gerenciado, que deverá ser sempre mínimo e baseado em modelos de predição. A Tabela 3.6 estão identificados alguns softwares desenvolvidos para a gestão de estoques.

Tabela 3.6 Softwares para Gestão de Estoques (Fonte: Compilação pelo Autor baseada em B2Sctack, 2021)

Aplicação	Software	Fabricante	Público Indicado	Descritivo
Gestão de Estoque	Sistema de Gestão para Indústrias de Alimentos e Bebidas	ABC71 https://www.abc71.com.br/	Ideal para setores voltados para comercialização de alimentos.	O sistema de gestão da ABC71 auxilia as indústrias de alimentos e bebidas com inovações tecnológicas, otimizando os processos e reduzindo os custos.
Gestão de Estoque	Sistema de Gestão para Indústrias Químicas e Farmacêuticas	ABC71 https://www.abc71.com.br/	Ideal para gestão de farmácia e laboratório Químico	O sistema de gestão da ABC71 para indústrias químicas e farmacêuticas otimiza os processos, controla as licenças e a logística de produtos perigosos ou controlados, garantindo qualidade, rastreabilidade e segurança nos processos.
Gestão de Estoque	Sistema de Gestão para Indústrias de Plásticos e Embalagens	ABC71 https://www.abc71.com.br/	Ideal para empresas do ramo de embalagens plásticas.	O sistema de gestão da ABC71 para indústrias de plásticos e embalagens otimiza o processo de produção, controlando a disponibilidade de moldes, reduzindo custos e garantindo maior lucratividade.
Gestão de Estoque	POLISOFTWARE BALANCE	Polisoftware http://www.polisofware.com.br	Silos, warehouses and the like that have a large scale.	System for weighing control, the system offers security and agility in the weighing process of large scales
Gestão de Estoque	Easy Sistema de Gestão empresarial	EasySoft - Sistemas de Informática http://www.easysoftsistemas.com.br/	Ideal para empresas de pequeno, médio e grande porte que desejam gerir de forma sólida o cadastro de seus clientes.	Software de controle de vendas, planejamento, controle de estoque,
Gestão de Estoque	DEBX-ERP	Debcred https://debcred.com.br	Empresas de pequeno, médio e grande porte de diversos segmentos que buscam forma de controle de maneira rápida e eficiente para seus setores.	DEBX-ERP é uma solução completa em sistemas de gestão empresarial. Ideal para empresas que buscam formas de controle eficiente para todos seus departamentos, de maneira ágil e integrada.

Para uma melhor completude deste trabalho, os fornecedores e desenvolvedores dos softwares referenciados neste trabalho foram contatados, e para a maioria destes aplicativos não foi possível identificar a viabilidade financeira de suas respectivas aplicações, sendo informado pelos desenvolvedores e fornecedores que os custos de implementação e manutenção são analisados caso a caso, dependendo das características de cada cliente.

3.8 Softwares “MES” e “PAPERLESS”

Entre os diversos aplicativos (softwares) apresentados que caracterizam a era de Suprimentos 4.0, neste trabalho destaca-se os aplicativos (softwares) “MES” (Manufacturing Execution System - Sistema de Execução de Manufatura), voltado para a integração da Cadeia de Suprimentos, e o “PAPERLESS” (Produção sem Papel), que viabiliza a realização de todo o processo de forma digital.

3.8.1 MES (Manufacturing Execution System)

Dentre os aplicativos para a integração da Cadeia de Suprimentos, destaca-se o MES, que é um software que permite fazer a recolha e análise dos dados do processo de produção diretamente do chão de fábrica, ajudando o gestor industrial a tomar decisões factuais imediatamente, ou seja, o MES permite fazer uma comparação entre aquilo que estava inicialmente planejado em termos de produção e o que foi efetivamente executado. Esse acompanhamento é feito medindo quantidades físicas de matérias e produtos e custos de natureza Industrial.

Segundo a Flow Technology (Flow Technology, 2021), empresa de desenvolvimento de sistemas MES, a utilização desta ferramenta permite às indústrias aumentar a qualidade dos produtos, garantir a rastreabilidade e reduzir os custos de produção. Considerada uma das tecnologias da I4.0, o software de gestão industrial MES permite a gestão e controle de todas as etapas do processo de produção (Desenho, Planejamento e Execução), conforme mostra a Figura 3.5, imediatamente, integrando equipamentos de chão de fábrica e Sistemas de ERP (Enterprise Resource Planning - Planejamento de Recursos Empresariais).



Figura 3.5 Etapas do processo de produção (Fonte: FLOW TECHNOLOGY, 2021)

Dentre os principais benefícios na utilização de um MES para a integração de uma cadeia de suprimentos destacam-se os seguintes:

- Maior qualidade da informação sobre a produção e rapidez na tomada de decisões;
- Aumento do índice de OEE (Overall Equipment Effectiveness - Eficácia geral do equipamento);
- Aumento da disponibilidade de máquinas e equipamentos e redução de quebras;
- Melhor adequação de stocks;
- Redução do tempo e custos de produção;
- Melhor apuramento do custo real da produção;
- Detecção de gargalos e não conformidades a tempo de possíveis correções;
- Melhoria da produtividade industrial;
- Melhor qualidade e confiabilidade do produto final;
- Melhores níveis de atendimento e prazos de entrega de produtos;
- Aumento da satisfação do consumidor;
- Apoio à melhoria contínua (*ibid.*).

3.8.2 “Paperless”

Dentre os aplicativos voltados para a Fabricação sem Papel (Paperless), destaca-se o software “Opcenter Execution Pharma”, da SIEMENS AG, empresa internacional de tecnologia (SIEMENS AG, 2021), que inclui uma integração nativa

entre o sistema de execução de manufatura (MES) com o sistema digital de controle de processo (DCS - Distributed Control System).

Este software se propõe, entre outras funcionalidades, a fabricação sem papel na indústria farmacêutica, onde através de um registro detalhado dos dados, condições e resultados do processo, é possível construir processos resistentes a erros, mais robustos e menos sujeitos a desvios, permitindo assim que a produção digital reduza significativamente o tempo e o esforço associados à entrada de dados, a complexidade da documentação sem a utilização de geral.

O “Opcenter Execution Pharma” oferece uma solução de software para gerenciamento de registro de lote mestre eletrônico que agiliza o projeto, execução, revisão e liberação de registros de lote mestre (MBR - Master Boot Record - Registro Mestre de Inicialização) e registros de lote eletrônico (eBR - Electronic Batch Record – Registro de Lote Eletrônico).

A integração do processamento baseada no sistema de controle de processo com fluxos e tarefas gerenciadas no sistema MES simplifica e agiliza a coleta de dados durante as operações. A arquitetura integrada significa que os sistemas podem ser configurados juntos diretamente. Isso ajuda a reduzir o tempo que normalmente leva para implementar uma solução de um projeto típico de um ano para apenas dois meses.

Uma vez instalado, este aplicativo agiliza o projeto de registros de lote mestre (MBR - Master Boot Record - Registro Mestre de Inicialização) e a execução, revisão e liberação de registros de lote eletrônico (eBR - Electronic Batch Record – Registro de Lote Eletrônico). Cada etapa e cada material podem ser monitorados, rastreados e registrados durante a produção. Os sistemas coordenam os processos de controle imediatos em cada nível, sincronizam as etapas do processo e trocam os valores dos parâmetros. As revisões são conduzidas com a ajuda de regras de exceção que identificam e documentam desvios. Os desvios podem ser processados durante as operações (revisão por exceção), agilizando significativamente a liberação.

Com relação a esta aplicação, ressaltam-se as Questões Regulatórias e seus impactos, e nos últimos anos as agências reguladoras, tais como ANVISA, FDA, COFEPRIS, INVIMA, EUROPEAN MEDICINES AGENCY E ANMAT, têm encorajado as indústrias farmacêuticas a explorar as capacidades de solução de Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia da Automação (TA) para a importante mudança para produção sem papel. Isso se deve ao fato que o uso de sistemas validados assegura de forma mais eficaz a aplicação dos requisitos de fabricação incluindo rastreabilidade e a integridade dos dados, gerando expectativas das indústrias Farmacêuticas em relação aos benefícios desta aplicação.

Pode-se destacar os seguintes aspectos regulatórios a serem considerados na utilização desses aplicativos:

- Prevenir erros, desvios de qualidade e perdas de lote
- Melhorar e demonstrar cumprimento regulatório
- Geração de genealogia e rastreabilidade detalhada do processo
- Otimizar investigações e Revisões Periódicas de Produtos
- Incremento do fator “Integridade de Dados”

Em termos de negócios pode-se destacar os seguintes benefícios decorrente da utilização desses aplicativos:

- Aumento de produtividade no processo de fabricação (RFT – Right First Time – Correto da Primeira Vez > 99%)
- Reduzir esforço, horas-extras e tempo na revisão da documentação do lote
- Liberação de lotes para vendas otimizada
- Simplificar alterações e introdução de novos produtos
- Substituir papel por registros eletrônicos alinhado com ações sustentáveis

Finalmente, é importante ressaltar que este aplicativo permite projetar, guiar, controlar e revisar os ciclos de vida do produto e do processo produtivo, fornecendo um registro eletrônico que detalha precisamente como um medicamento foi produzido conforme exigido pelo FDA (Food and Drug Administration – Administração de Alimentação e Drogas – Órgão Americano) e demais órgãos reguladores.

3.9 Logística ou Distribuição

Com o advento da Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) e demais tecnologias de produção associadas à I4.0, como por exemplo, tecnologias que possibilitam a análise de um grande volume de dados, a “Distribuição ou Logística”, conforme Figura 3.6, é influenciada com diversas possibilidades de uso das tecnologias.



Figura 3.6 Logística e as Tecnologias da I4.0 (Fonte: FACULDADE MULTIVIX, 2021).

Segundo Ballou (2004) *apud* Coriguazi, D. M. C. et al, (2017), as atividades dos processos logísticos são divididas entre:

- Atividades-chave: marketing, transporte, gerência de estoques e fluxos de informação, e
- Atividades de apoio: armazenagem, manuseio de materiais, compras, embalagem, cooperação com as operações e manutenção de informações.

O conjunto dessas atividades tem como objetivo colocar os produtos ou serviços certos, no lugar certo, no momento certo, nas condições desejadas, a um custo razoável.

Para Christopher (2011) *apud* Coriguazi, D. M. C. et al, (2017), a logística tem como missão planejar e coordenar essas atividades com um nível de qualidade desejado, estabelecendo uma relação entre o mercado e a base de fornecimento.

Para Lewandowski et al., (2013) *apud* Coriguazi, D. M. C. et al, (2017), para que o objetivo e missão da Logística sejam mantidas em níveis competitivos, é essencial que a logística acompanhe a evolução das empresas, investindo cada vez mais em novas tecnologias e inovações.

Branski e Laurindo (2013) *apud* Meira, G. B. A. e al (2017) classificam as tecnologias da informação aplicadas à logística integrada em três categorias: aplicativos, comunicação e tecnologias embarcadas. A primeira se refere às ferramentas como o Enterprise Resource Planning (ERP), Warehouse Management System (WMS) e Business Intelligence (BI). A segunda, de comunicação, inclui coletores de dados, terminais portáteis, Intercâmbio Eletrônico de Dados (Electronic Data Interchange - EDI) e ferramentas WEB. A terceira inclui rastreamento, roteirização e otimização de carga.

Segundo Coriguazi, D. M. C. et al (2017), dentre as diversas tecnologias aplicadas nos processos logísticos, tem-se os métodos de identificação de materiais e equipamentos e, mais recentemente, os sistemas físico-cibernéticos, que visam auxiliar as empresas no monitoramento e na melhoria do desempenho desses processos.

Ainda segundo Coriguazi, D. M. C. et al (2017), no caso dos sistemas de identificação, dois métodos possuem destaque na aplicação em empresas, que são:

- Sistema de identificação por código de barras: que são informações codificadas em barras e espaços de diferentes larguras e distâncias (Burke, 1984), geralmente utilizados na identificação de materiais e equipamentos, fornecendo informações atualizadas sobre o gerenciamento destes itens (Chen, Li, & Wong, 2002).
- Sistema RFID (Radio Frequency Identification – Identificação de Rádio Frequência): que é composto de uma tecnologia de identificação automática (sem necessidade de contato) onde, por meio de sinais de uma frequência de

rádio, são realizados acessos a dados relevantes do material identificado, sem intervenção manual, facilitando a identificação do material ou equipamento em qualquer ambiente (Sun, 2012).

Para Lee, (2006); Lee, Kao, & Bagheri, (2015), *apud* Coriguazi, D. M. C. et al, (2017), os sistemas físico-cibernéticos (Cyber-Physical Systems), que são um dos requisitos fundamentais para a implantação do conceito da I4.0, são utilizados na integração entre os sistemas computacionais e os processos físicos, com pouca ou nenhuma intervenção humana, onde objetiva-se atingir melhor eficiência nos sistemas produtivos, por meio do constante trabalho em rede, baseado nos princípios da IoT e Big Data.

Para que a gestão dos processos logísticos ocorra de forma abrangente nas empresas, a mesma deve compreender tanto o fluxo de material, quanto o fluxo de informação, com a participação entre clientes e fornecedores em ambos os fluxos (STOCK, GREIS, & KASARDA, 2000 *apud* Coriguazi, D. M. C. et al, 2017).

No fluxo de material, ocorre o controle e coordenação do fluxo da matéria prima dos fornecedores até a empresa, internamente à empresa, e do produto acabado até o cliente final. Já no fluxo de informação ocorre a coordenação do uso da tecnologia da informação e de todo o fluxo de informação em toda a cadeia (fornecedores, empresas e clientes) de forma rápida e precisa, garantido assim eficiência e melhor desempenho em todo o processo (PRAJOGO & OLHAGER, 2012 *apud* Coriguazi, D. M. C. et al, 2017).

Coriguazi, D. M. C. et al, 2017 ressalta que a tecnologia da informação, os sistemas de identificação de materiais e equipamentos, assim como os sistemas físico-cibernéticos devem trabalhar de forma integrada, para melhor controle, velocidade e acuracidade dos processos pertencentes a estes fluxos, conforme Figura 3.7.

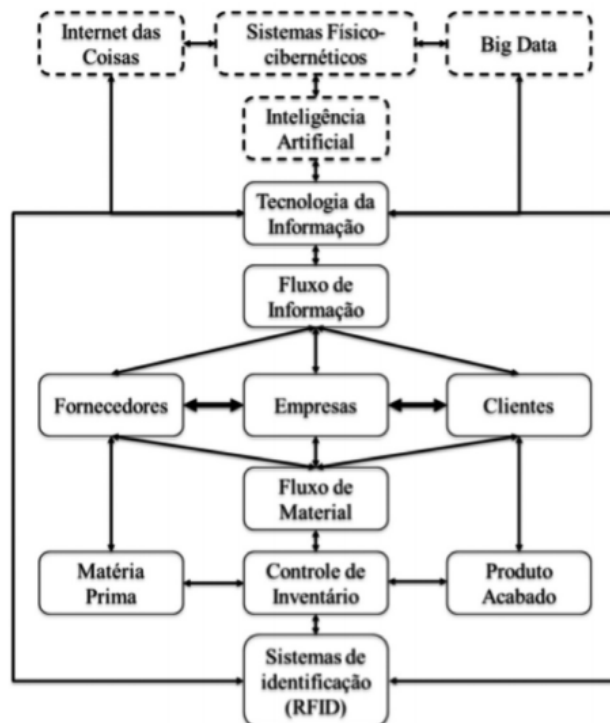


Figura 3.7 - Fluxos de material e Informação e Integração às Tecnologias
(Fonte: Coriguazi, D. M. C. et al, 2017)

3.10 Conclusões

Neste capítulo apresentou-se a utilização de ferramentas da Pesquisa Operacional (PO) e Inteligência Artificial (IA), utilizando grandes volumes de dados (Big Data) disponíveis numa empresa aplicadas a cadeias de suprimentos (Supply Chain).

No próximo capítulo deste trabalho serão apresentadas algumas aplicações de IA na I4.0 e dois estudos de casos com foco no agente da “Distribuição ou Logística” da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*), a partir da utilização de ferramentas da I4.0, tais como PO e IA e Big Data, para a melhoria de processos de uma Cadeia de Suprimentos.

4 ESTUDO DE CASOS

Para a validação dos conceitos apresentados nesta Dissertação de Mestrado, são apresentados neste capítulo algumas aplicações práticas de IA e I4.0, através de estudo de casos com foco na “Indústria”, e dois estudos de casos com foco no agente da “Distribuição ou Logística” da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*), a partir da utilização de ferramentas da I4.0, tais como PO e IA e Big Data, para a melhoria de processos de uma Cadeia de Suprimentos.

Para efeitos comparativos do cenário “anterior” e “pós” a era da IA e as tecnologias da I4.0, a Tabela 4.1 sintetiza esses cenários para os estudos de caso apresentados neste capítulo:

Tabela 4.1: Indústria – Cenários da Aplicação da IA e as Tecnologias da I4.0
(Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da Vale S.A., Bosch, Tecmaram e DHL. c2021)

Aplicação da IA e as tecnologias da I4.0 nos Estudos de Caso			
Estudo de Casos	CENÁRIO ANTERIOR À I4.0	CENÁRIO PÓS I4.0	PILARES PARA A TRANSFORMAÇÃO E TECNOLOGIAS: IA & I4.0
INDÚSTRIA • Aplicação 1: Vale - mineração e logística • Aplicação 2: Bosch - tecnologia e serviços • Aplicação 3: Granado - farmacêutica e cosmética	- Processos não integrados - Controles Manuais - Atividades operacionais Manuais - Visibilidade de produção, estoque, logística defasados com relação ao tempo; - Linha de produção com custos e prazos extensos para <i>set-up</i> de máquina - Baixa escala de produção	- Integração entre as áreas de negócio pelo mundo - Transformação digital; - Recursos às fábricas para trabalharem de forma autônoma, eficiente e adaptável - Adicionado máquinas, sistemas e redes inteligentes aos processos de produção, armazenamento e distribuição; - Alta escala de Produção	PILARES: - Sistemas e cadeias integradas - Robotização - Equipamentos autônomos TECNOLOGIAS: - Internet das Coisas - Data Analytics - Aprendizado da Máquina - Inteligência Artificial (IA) - Aplicativos móveis - Sensores - Big Data - Programação
SUPRIMENTOS - LOGÍSTICA Estudo de Caso 1: Bosch - tecnologia e serviços Estudo de Caso 2: DHL - Logística e Serviços	- Mercado não globalizado - Qualidade - maior índice de rejeição - Riscos de Acidentes	- Globalização de mercado - Qualidade - redução de índice de rejeição - Riscos de Acidentes reduzidos	

4.1 Aplicações industriais de IA na I4.0 – Estudos de Casos

A utilização de IA e tecnologias associadas à I4.0 para as diversas empresas e seguimentos industriais, é apresentada a seguir através de aplicações realizadas em empresas de três seguimentos distintos, a Vale S.A., a Bosch e a Granado, conforme descrição a seguir:

- Aplicação 1: Vale (Vale S.A.) - empresa de mineração e logística
- Aplicação 2: Bosch (Robert Bosch Limitada) - empresa de tecnologia e serviços
- Aplicação 3: Granado (Casa Granado Laboratórios Farmácias e Drogarias S.A.) – empresa farmacêutica e cosmética

4.1.1 Aplicação 1: Estudo de Casos da empresa Vale S.A.

A Vale S.A., empresa de mineração e logística, por meio de inteligência artificial, análise computacional avançada e trabalho colaborativo, está mudando o cenário da mineração, conectando pessoas para gerar profundas mudanças e uma maior eficiência operacional nos seus negócios.

Para a Vale, a I4.0 é uma realidade, adicionando máquinas, sistemas e redes inteligentes aos processos de produção, armazenamento e distribuição. Essa mudança tem o poder de transformar negócios e proporcionar recursos às fábricas para trabalharem de forma mais autônoma, eficiente e adaptável.

Para adaptar-se aos desafios e oportunidades de um novo cenário utilizando a I4.0, a Vale começou a implantar em 2016 um programa de transformação digital, permitindo à empresa promover a integração entre as áreas de negócio pelo mundo, reduzir custos, simplificar processos, aumentar a produtividade e a eficiência operacional, e alcançar os melhores índices de saúde e segurança. Este programa se baseia em quatro grandes pilares:

- Análise de Dados (Data Analytics),
- Sistemas e cadeias integrados,
- Robotização,
- Equipamentos autônomos.

A empresa utiliza Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), Análise de Dados (Data Analytics), Aprendizado da Máquina (Machine Learning), Inteligência Artificial (IA) e aplicativos móveis, entre outras inovações tecnológicas, e disponibilizou em seu portal de internet alguns casos já desenvolvidos com a utilização destas tecnologias, conforme sumário apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Aplicação 1: Vale - Casos Desenvolvidos com a Utilização das Tecnologias IA e I4.0 (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da Vale S.A. c2021)

a) Caminhões Autônomos	Controlados por sistemas de computador, GPS (Sistema de Posicionamento Global), radares e IA
b) Drones no Pátio Ferroviário	Utilizado para mapeamento dos vagões carregados com minério para detectar excesso de umidade na carga.
c) Análise de Dados e Inteligência Artificial (Vida Útil dos Pneus)	Utilização do sistema Análise de Dados (Data Analytics) para desenvolver uma metodologia que aumentou a vida útil dos pneus de caminhões
d) Centro de Operações Integradas (COI): - Tecnologia Digital - Aplicativos APS & SOAN (Gerenciamento do Fluxo Logístico)	Sincronizar as diversas etapas da operação no Brasil e no exterior e aproximá-la com a área de vendas, ganhando-se em eficiência e redução de preços. Visão integrada desde a mina, passando pelas ferrovias, portos e transporte marítimo até o destino final do minério; Uso intensivo de tecnologia digital para promover a colaboração entre as equipes, tornando a troca de informações fácil e confiável Sistemas desenvolvidos para agilizar e melhorar o processo de planejamento e distribuição da produção - Dois deles se destacam: - APS (Advanced Planning and Scheduling Ferrosos) - otimizador que reúne os dados de capacidade e custo da cadeia de valor (minas, ferrovias, portos, navios e centros de distribuição) e da dinâmica de preços do mercado, para indicar a melhor combinação possível para o atendimento das demandas dos clientes, com o objetivo de garantir a maior margem para a empresa. - SOAN (Sistema de Otimização da Alocação de Navios) - otimizar a alocação da frota de navios para obter o menor custo total de distribuição.
e) Digital Lab (Laboratório Digital) (Pesquisas de Novas Tecnologias)	Um ambiente voltado para experimentar e pesquisar novas tecnologias que possam potencializar os resultados da empresa, para disseminar na empresa a cultura da inovação com soluções que tragam resultados exponenciais para o negócio.
f) Hubology: ambientes de trabalho integrados	Novo modo de trabalhar no Canadá: conectar com pessoas, encontrar soluções para um problema de forma ágil e colaborativa, usando informação e tecnologia na tomada de decisões.
g) Escavadeiras subterrâneas controladas remotamente	Implementados controles por meio de tablets e operação remota para operar uma escavadeira remotamente, trazendo mais segurança e diminuição de riscos de lesões musculoesqueléticas.
h) Hackthon: promovendo a inovação.	Evento que reuniu apaixonados por empreendedorismo, programação e tecnologia

a) Caminhões Autônomos: GPS (Sistema de Posicionamento Global), radares e IA

Caminhões com capacidade para 240 toneladas, conforme Figura 4.1, circulam nas vias de uma grande área de mineração sem um operador na cabine. Controlados apenas por sistemas de computador, GPS (Sistema de Posicionamento Global), radares e IA, os veículos se movimentam de forma eficiente entre a frente de lavra e a área de descarga na mina Brucutu, da Vale, em Minas Gerais.

Depois de trabalhos de pesquisa e teste, foram utilizados sete caminhões para o transporte de minério de ferro da frente de lavra à usina de beneficiamento começaram a fazer parte da rotina das operações ao lado de outros seis veículos operados de maneira tradicional. Quando toda a frota for substituída por caminhões com a nova tecnologia, Brucutu será a primeira mina a operar de forma autônoma no Brasil, com previsão total de 13 equipamentos.

Em relação ao modelo convencional de transporte, a produtividade do sistema de operações autônomas é superior. A produtividade de caminhões fora de estrada tem ganhos expressivos. A operação autônoma também aumenta a vida útil do equipamento, gera menor desgaste de peças e redução dos custos de manutenção. Com base em dados de mercado da tecnologia, a Vale espera conseguir aumento da vida útil de equipamentos da ordem de 15%. Estima-se ainda que o consumo de combustível e os custos de manutenção sejam reduzidos em 10% e que haja um aumento da velocidade média dos caminhões. A operação autônoma também traz relevantes benefícios ambientais. A economia de combustível usado nas máquinas resulta em volume mais baixo de emissões de CO₂ e particulados.

As pessoas seguem tendo um papel importante na operação autônoma. As equipes que supervisionam todo o processo podem ficar confortavelmente instaladas a quilômetros de distância das operações. Os operadores de equipamentos de Brucutu foram deslocados para outras funções na própria mina ou em outras unidades

da Vale na região. Parte da equipe foi aproveitada na gestão e controle dos equipamentos autônomos, após ter passado por cursos de capacitação.

Com menos pessoas presentes nas atividades de lavra, onde há movimentação de veículos pesados e grandes volumes de carga, diminui-se a exposição dos empregados a riscos de acidentes. A tecnologia utilizada nos caminhões consegue identificar obstáculos e mudanças que não estavam previstas no trajeto determinado pelo centro de controle. Ao detectar riscos, os equipamentos paralisam suas operações até que o caminho volte a ser liberado. O sistema de segurança é capaz de detectar tanto objetos de maior porte como grandes rochas e outros caminhões até seres humanos que estejam nas imediações da via.



Figura 4.1 Operação Autônoma em Caminhões (Fonte: VALE S.A., c2021).

b) Utilização de Drones de monitoramento de pátios Ferroviários

Um drone tem muitas aplicações e pode ser um aliado importante para a segurança, principalmente no que diz respeito ao monitoramento. O uso deste dispositivo no pátio ferroviário de Tubarão, no Espírito Santo, trouxe ganhos de produtividade e segurança para os empregados que atuam nesta atividade. Um drone é utilizado para mapeamento dos vagões carregados com minério, visando

principalmente detectar excesso de umidade na carga. Este fato causa transtorno na operação de descarga no virador, gerando custos adicionais com manutenção e limpeza, além de diminuir a disponibilidade dos equipamentos.

Com a introdução do equipamento, ganhos significativos de produtividade foram observados, conforme Figura 4.2, já que anteriormente a atividade chegava a utilizar até quatro empregados para verificar a situação da carga dos vagões e durava em média 4 horas, em um pátio que é composto por 32 linhas férreas de aproximadamente 1km de extensão cada. Com a facilidade trazida com o uso do drone, a mesma atividade utiliza apenas um empregado como operador e o mapeamento de todo pátio é realizado em menos de cinco minutos, permitindo maior agilidade no processo de tomada de decisão.

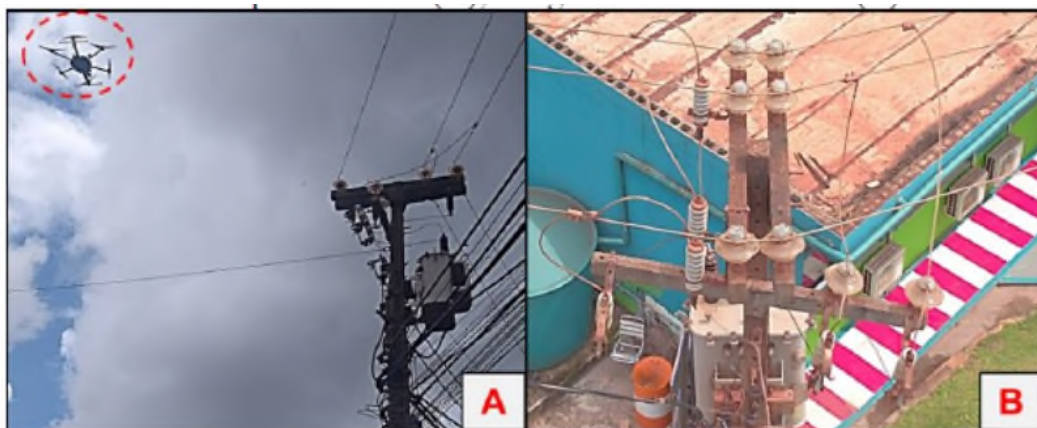


Figura 4.2 Comparativo entre “A” visão do empregado e “B” visão por meio do drone (Fonte: VALE S.A., c2021).

c) Análise de Dados (Data Analytics) e Inteligência Artificial (IA)

Utilização do sistema Análise de Dados (Data Analytics) para desenvolver uma metodologia que aumentou a vida útil dos pneus de caminhões fora de estrada, conforme priorização das causas e ações, nas Figuras 4.3 e 4.4, trazendo como resultado aumento da média de vida 22.6% com economia no orçamento na ordem de 15% do orçamento original.



Figura 4.3 Causas de desgaste de Pneus Priorizadas (Fonte: VALE S.A., c2021).



Figura 4.4 Ações para aumentar a Vida Útil dos Pneus (Fonte: VALE S.A., c2021).

**d) Centro de Operações Integradas (COI): Tecnologia Digital / Aplicativos
APS & SOAN (Gerenciamento do Fluxo Logístico)**

A Vale deu início, na Mina de Águas Claras (MAC), em Nova Lima, Minas Gerais, às atividades do Centro de Operações Integradas (COI) da empresa, com o objetivo de sincronizar as diversas etapas da operação no Brasil e no exterior e aproximá-la com a área de vendas, ganhando-se assim em eficiência e redução de preços. Por exemplo, a cada instante a Vale tem que gerenciar o fluxo em torno de 300 navios em diversas posições mundo afora, tarefa que será facilitada através das ações integradas do Centro de Operações Integradas (COI), conforme mostra as Figuras 4.5 e 4.6.

Com a estrutura, a Vale terá uma visão integrada desde a mina, passando pelas ferrovias, portos e transporte marítimo até o destino final do minério, tornando o processo decisório mais eficaz e focado em otimizar o desempenho dos processos e ativos, assim como os resultados do negócio.

A Vale também prevê uma maior aderência entre planejamento e execução; maior estabilidade e previsibilidade da cadeia produtiva; e um potencial de ganhos anuais de mais de US\$ 600 milhões, entre realização de preços e aumento da produtividade dos ativos.

Um dos pilares para alcançar os objetivos do Centro de Operações Integradas (COI) é o uso intensivo de tecnologia digital para promover a colaboração entre as equipes, tornando a troca de informações fácil e confiável, e para melhorar a eficácia do planejamento da cadeia de valor, que é complexa e envolve profissionais distribuídos em diferentes geografias e fusos horários. Esses princípios nortearam o projeto desde a concepção, resultando em um ambiente que combina modernos painéis de visualização, salas de videoconferência e várias ferramentas de colaboração.

Além disso, sistemas foram aprimorados e outros foram desenvolvidos para agilizar e melhorar o processo de planejamento e distribuição da produção. Dois deles

se destacam: o APS (Advanced Planning and Scheduling Ferrosos) e o SOAN (Sistema de Otimização da Alocação de Navios).

O sistema APS (Advanced Planning and Scheduling Ferrosos) é um otimizador que reúne os dados de capacidade e custo da cadeia de valor (minas, ferrovias, portos, navios e centros de distribuição) e da dinâmica de preços do mercado, para indicar a melhor combinação possível para o atendimento das demandas dos clientes, com o objetivo de garantir a maior margem para a empresa.

Já o SOAN (Sistema de Otimização da Alocação de Navios) deve otimizar a alocação da frota de navios a serviço da empresa visando obter o menor custo total de distribuição. O programa leva em conta todas as variáveis que influem no custo, como preço de combustível e demurrage (custo relacionado ao tempo de espera em fila do navio no terminal portuário), e determina para qual carga e rota devem ser alocados os navios que transportam minério da Vale para os clientes. A programação da distribuição e a localização de cada navio em tempo presente/imediato é compartilhada através dos telões do Centro de Operações Integradas (COI) e aplicativos móveis. São visualizados cerca de 400 navios ao mesmo tempo.



Figura 4.5 Centro de Operações Integradas: Tecnologia Digital (Fonte: VALE S.A., c2021).



Figura 4.6 Centro de Operações Integradas: Tecnologia Digital (Fonte: VALE S.A., c2021).

e) Digital Lab (Pesquisas de Novas Tecnologias)

Um ambiente voltado para experimentar e pesquisar novas tecnologias que possam potencializar os resultados da empresa, para disseminar na empresa a cultura da inovação com soluções que tragam resultados exponenciais para o negócio. A Vale afirma que foi aplicado o melhor da engenharia de software, design, tecnologia e muito mais, com objetivo de mudar a forma como a empresa pensa inovação e a aceleração de ideias.

f) Hubology: ambientes de trabalho integrados

Novo modo de trabalhar no Canadá: conectar com pessoas, encontrar soluções para um problema de forma ágil e colaborativa, usando informação e tecnologia na tomada de decisões.

g) Escavadeiras subterrâneas controladas remotamente: GPS (Sistema de Posicionamento Global), radares e inteligência artificial

Foram implementados controles por meio de *tablets* e operação remota na mina de Totten, no Canadá. Ao operar uma escavadeira remotamente, traz-se mais segurança e diminuem-se os riscos de lesões musculoesqueléticas.

h) Hackthon: promovendo a inovação

O Hackathon Mobilidade da Vale foi um evento que reuniu apaixonados por empreendedorismo, programação e tecnologia com o objetivo de chegar a uma solução viável para melhorar a mobilidade interna do Terminal de Ponta da Madeira, em São Luís, no Maranhão.

A solução desenvolvida foi a que redesenhou as rotas dos veículos de transporte por meio de um algoritmo genético e propôs um modelo logístico baseado na produção puxada, no qual o ônibus circular ou o carro de apoio só sairá da rodoviária em caso de demanda. Por meio do produto, o usuário solicita o veículo, informando ponto de partida, destino final e quantidade de pessoas a serem transportadas. Em seguida, recebe um “link” para acompanhar o deslocamento do veículo, até que chegue ao seu local e possa embarcar.

O principal ganho é na diminuição do tempo de espera, redução do desperdício do veículo na falta de demanda e a possibilidade de acompanhar o deslocamento do transporte. O produto tem funcionalidade de aplicativo remoto disponível para celular, “tablet”, “totens” espalhados pela área da Vale e “desktop”.

4.1.2 Aplicação 2: Estudo de Caso “Bosch”

A colaboração entre o Centro de Inteligência Artificial da Bosch e as fábricas da divisão resultou em uma solução universal de IA para manufatura que usa o aplicativo/software “Nexeed Manufacturing Execution System (MES)” da Bosch Connected Industry para coletar, processar e analisar dados automaticamente de uma variedade de fontes quase em tempo presente.

O desenvolvimento desta solução tem as características sumarizadas na Tabela 4.3 e detalhadas neste capítulo.

Tabela 4.3: Aplicativo MES “Nexeed Manufacturing Execution System” - Características (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da Bosch. c2021)

Aplicação 2: Bosch - Aplicativo MES “Nexeed Manufacturing Execution System” - Características	
Aplicativo “Nexeed Manufacturing Execution System (MES)” - IA para Manufatura	- “MES”: Solução universal de IA para manufatura - usado para coletar, processar e analisar dados automaticamente de uma variedade de fontes quase em tempo presente. - Detecta falhas do processo de manufatura em estágio inicial, reduzindo o número de peças rejeitadas e melhorando a qualidade dos produtos - Interligação de Processos de auto adaptação para máquinas e linhas de montagem. Com base nos padrões que aprendeu, o sistema identifica os desvios e as ações corretivas podem ser tomadas imediatamente.

O projeto piloto do sistema, desenvolvido com base em IA, que detecta falhas e mau funcionamento do processo de manufatura em estágio inicial, reduzindo confiavelmente o número de peças rejeitadas e melhorando a qualidade dos produtos, foi implantado no setor de negócios de Soluções para Mobilidade da Bosch.

Os dados do sensor das máquinas servem como base para, por exemplo, determinar as oscilações em uma ampla gama de processos de fabricação. O aplicativo/software Nexeed da I4.0 “traduz” e visualiza os dados e códigos, o sistema de IA faz uma recomendação para ação e o colaborador decide como proceder (Figura 4.7).

Processos de auto adaptação para máquinas e linhas de montagem também podem ser integrados. Se, por exemplo, uma cavidade se desvia do posicionamento definido, o sistema de IA inicia independentemente as etapas necessárias. Às vezes, o sistema de IA recebe suporte de câmeras que são posicionadas ao longo das linhas de produção e registram o processo de fabricação. Com base nos padrões que aprendeu, o sistema identifica os desvios e as ações corretivas podem ser tomadas imediatamente.



Figura 4.7 Análise de Dados com Inteligência Artificial (Fonte: ROBERT BOSCH LIMITADA, c2021).

4.1.3 Aplicação 3: Estudo de Caso “Granado”

As indústrias farmacêuticas e de cosméticos precisam gerenciar características únicas, que são desafiadoras para a programação da produção, tais como, grandes variações na demanda devido a sazonalidade e tendências de mercado, necessidade de redução de prazos de produção e disponibilidade dos produtos para o mercado, controle rigoroso das datas de validade dos produtos, atendimento aos requisitos das agências reguladoras e complexidade de setups de máquinas e processos de produção em função da grande diversidade de produtos.

A Granado, indústria farmacêutica e de cosméticos, adota um modelo de negócio que atende consumidores com uma rede de varejo composta por drogarias, perfumarias e supermercados em todo o Brasil, mais de 60 lojas próprias no Brasil e três lojas no exterior (França, Espanha, Portugal), sendo seus principais obstáculos para este atendimento, o planejamento correto de estoque, agilidade no planejamento e programação da produção, fornecimento de materiais e a otimização do uso de mão de obra.

Para enfrentar esses obstáculos, a Granado implementou o software Opcenter Advanced Planning and Scheduling (Opcenter APS), que é uma família de softwares de planejamento e programação da produção, que aprimora a sincronização dos processos de fabricação, oferecendo maior visibilidade e controle para aumentar a

utilização da capacidade de produção e assegurar o atendimento da demanda, ao mesmo tempo em que reduz os níveis de estoque e de desperdício. O Opcenter APS faz parte do Xcelerator, um portfólio abrangente e integrado de software e serviços da Siemens Digital Industries Software. O Opcenter APS pode, conforme Tabela 4.4, ser implementado como solução única ou complementar a outros sistemas da empresa.

Tabela 4.4: Aplicativo Opcenter APS - Características (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da Tecmaran. c2021)

Aplicação 3: APS - Solução Única ou complementar para Sistemas já Implantados na Empresa	
APS	- Os Sistemas APS programam, principalmente as operações produtivas, alocando-as nos recursos de produção disponíveis, como Os recursos do chão de fábrica de uma indústria. - Os Sistemas APS podem incorporar informações sobre a disponibilidade de matérias primas geradas pelo Sourcing, modificando eficazmente as programações de forma a acomodar as Atividades de acordo com as mudanças de disponibilidade encontradas. - Os Sistemas APS fazem o gerenciamento da manufatura, balanceando a demanda e capacidade para atendimento das datas de entrega; - Sua capacidade de prever datas de entrega estimadas com absoluta precisão é fundamental no suporte da logística da entrega.
APS e ERP	- O APS pode ser considerado a solução pontual de programação que complementa os sistemas ERPs, ou pode ser usado como um sistema autônomo caso a empresa não possua um ERP. - Diferença entre ERP e APS: ERP é uma solução ampla, para toda a companhia/grupo, ele é responsável por integrar toda a lógica das tarefas realizadas na empresa e, devido sua abrangência, utilizam conceitos de capacidade infinita que geram planos de produção não realistas. APS é especializado num único ou em poucos processos da empresa – as atividades relacionadas com o planejamento e a programação das operações da produção de bens ou serviços. Combinando a <u>técnica de capacidade finita com a tecnologia computacional de última geração</u>, tornam viável considerar, durante a tarefa de programação, <u>a real complexidade dos processos produtivos em tempo real</u>. A capacidade de <u>modelagem e simulação</u> torna os sistemas APS uma ferramenta prospectiva, que permite elaborar cenários futuros da ocupação do sistema de produção da empresa.
APS e SCM (Supply Chain Management)	Abrange o conjunto inteiro das organizações e das atividades de fornecimento de produtos ou serviços a um cliente, desde a aquisição dos componentes e matéria prima, dos pedidos unitários dos vendedores, da manufatura do produto ou serviço, até a entrega aos clientes, incluindo a logística de armazenagem, distribuição e transporte.

A Granado modernizou suas plantas industriais, linhas de produtos e sistemas de gestão empresarial, possuindo um moderno parque fabril, conforme Figura 4.8, localizado em Japeri, Brasil, com cinco áreas de produção para suas diferentes linhas de produtos: medicamentos, cosméticos, ceras, velas e maquiagens, aerossóis, loções e sabonetes. Cada área de produção utiliza diferentes processos e adota diversas tecnologias de produção de ponta com altíssimos níveis de automação.



Figura 4.8 Granado - Parque Fabril Moderno (Fonte: TECMARAM, c2021).

A implantação da solução de planejamento modelada de um dos softwares da família APS, o Opcenter PL (Opcenter Planning), trouxe como resultado, a redução em dois terços no tempo de cada ciclo de planejamento, de forma que as decisões são tomadas mais rapidamente, disponibilizando ainda tempo análise de melhorias.

Já a implantação de outro software da família APS, o Opcenter SC (Opcenter Scheduling) teve como ganho mais importante a economia de mão de obra, cujo uso agora é otimizado com a distribuição do número certo de pessoas em cada turno e linha de produção.

4.2 I4.0: Estudo de Casos com foco no Agente Distribuição ou Logística da Cadeia de Suprimentos

Com o objetivo de apresentar a utilização de ferramentas da Indústria 4.0 (I4.0), tais como Pesquisa Operacional, Inteligência Artificial (IA) e análise de grande volume de dados (Big Data), para melhoria de processos de uma Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*), são apresentados dois estudos de casos, com foco no agente da “Distribuição ou Logística” da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*):

- **Estudo de Caso 1:** Bosch (Robert Bosch Ltda) - Empresa de tecnologia e serviços
- **Estudo de Caso 2:** DHL - Empresa de Logística e Serviços

4.2.1 Estudo de Caso 1: Empresa Robert Bosch do Brasil

Este estudo de caso demonstra, conforme Tabela 4.5, uma problemática da Bosch com relação ao processo logístico e como, com a utilização de ferramentas da I4.0 e Pesquisa Operacional (PO), a problemática foi resolvida.

Tabela 4.5: Estudo de Caso 1 – Bosch (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da empresa Bosch. c2021)

Estudo de Caso 1: Bosch	
Problemática: (antes da implantação de ferramentas da I4.0 & PO)	Logística: - Planejamento logístico não integrado com a produção; - Agentes da Cadeia de Suprimentos não Integrados entre si e em especial com a Logística; - Falta de Controle e Monitoramento da carga/mercadoria durante o transporte; - Controles Manuais - Visibilidades desatualizadas - Cadeia de Suprimentos desestabilizada - Falta ou atraso na disponibilidade da mercadoria
Objetivo:	Otimização da Logística, através da: - Integração do planejamento logístico com a produção; - Integração da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain); - Controle Digitais da carga/mercadoria durante o transporte; - Visibilidades em tempo real - Cadeia de Suprimentos estável - Disponibilidade do material contínua, conforme programação.
Solução de problema:	Desenvolvimento de aplicativos/software e sensores;
Ferramentas da Indústria 4.0 (I4.0) utilizadas:	Computação em Nuvem (Cloud), Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), Sensores, grande volume de dados (Big Data), IA, RFID
Ferramentas da Pesquisa Operacional utilizadas:	Programação

Este estudo também mostra, conforme Tabela 4.6 e detalhamento neste capítulo, os principais aplicativos utilizados pela empresa Bosch para a solução da problemática.

Tabela 4.6: Estudo de Caso 1 – Bosch – Principais Aplicativos (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da Bosch. c2021)

Estudo de Caso 1: Bosch - Principais Aplicativos	
a. ProCon	Utilizado pelos planejadores de logística para integração dos processos.
b. InTrack	Utilizado pelos planejadores de Logística para integração da Cadeia de Suprimentos.
c. Monitoramento das Cargas - Sensores	Através do uso da IoT, utilizada para monitorar a da carga: temperatura, condições como pressão, umidade do ar, vibrações, etc

Segundo a Bosch, empresa de tecnologia e serviços (BOSCH, c.2021), a Excelência da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*) está em manter uma cadeia estável que traga satisfação do cliente.

O objetivo da empresa Bosch é monitorar os fluxos de mercadorias de forma digital utilizando da IA para otimizar processos, tudo em uma rede global que inclui clientes, prestadores de serviços de logística e fornecedores, de forma a responder de forma otimizada e rápida aos desejos individuais dos clientes.

Nesta empresa, todo conceito logístico deve atender a um requisito fundamental: a disponibilidade contínua de materiais.

Para atender a este requisito, a empresa e seus associados de logística usam tecnologias inovadoras da I4.0, como a IA, Internet das Coisas, Sensores, Sistemas de transporte sem motorista, Reconhecimento de Imagem e Soluções de Rádio Frequência (Radio Frequency Identification - RFID), entre outros, conforme Figuras 4.9 e 4.10, para garantir o armazenamento ideal e interconectado em todos os locais de armazém em todo o mundo, integrando-os em seus próprios sistemas.



Figura 4.9 Logística: Sensores - sistemas de transporte sem motorista (Fonte: BOSCH, c2021).



Figura 4.10 Logística: Soluções de RFID (Fonte: BOSCH, c2021).

O foco da empresa Bosch está em garantir que toda a cadeia de abastecimento seja digital, do cliente ao fornecedor, conforme Figura 4.11, abordagem também adotada pela Bosch para gerenciar a produção e transporte interno em suas plantas.



Figura 4.11 Logística: Integração da Cadeia de Suprimentos (Fonte: BOSCH, c2021).

Entre os diversos aplicativos/softwares utilizados pela Bosch para a otimização de sua logística, apresentamos aqui o ProCon e o InTrack, e também a solução de sensores para o monitoramento das condições da carga durante o transporte.

a. ProCon

Os planejadores de logística são constantemente confrontados com a questão de quando e qual pedido deve ir para a produção. O ProCon é um software/aplicativo utilizado pelos planejadores de logística para integração dos processos. É uma ferramenta automatizada que lhes permite gerenciar, visualizar e otimizar processos, de forma que possam visualizar a situação da produção imediatamente em telas, possibilitando a tomada de decisão, conforme Figura 4.12.



Figura 4.12 Logística: Visualização da produção em telas (Fonte: BOSCH, c2021).

b. InTrack

O “InTrack” é um software/aplicativo utilizado pelos planejadores de Logística para integração da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain).

A plataforma de integração da Cadeia de Suprimentos suporta os processos logísticos e oferece uma coleção de soluções de dados móveis, conforme Figura 4.13.

Ao mesmo tempo, conecta os associados que trabalham nos projetos, permitindo a transparência entre toda a cadeia de abastecimento.



Figura 4.13 Logística: Solução de Dados Móveis (Fonte: GOOGLE, c2021).

c. Monitoramento das Cargas - Sensores

Segundo a Bosch, com relação ao transporte, um dos principais fatores que influenciam a qualidade da entrega de produtos sensíveis ou perecíveis é a temperatura da carga.

Com a cadeia fria, a Bosch fornece uma recente tecnologia de sensor, através da tecnologia Internet das Coisas, que atribui total transparência sobre parâmetros importantes da carga. Além da própria temperatura, condições como pressão, umidade do ar, vibrações e tremidas podem ser acompanhadas, conforme Figura 4.14. Dessa maneira, o transportador tem a oportunidade de corrigir os desvios durante o trajeto, garantindo que as mercadorias cheguem ao destino em perfeitas condições.



Figura 4.14 Logística: Inteligência Artificial (IA) no Transporte (Fonte: BOSCH, c2021).

4.2.2 Estudo de Caso 2: empresa transportadora DHL

Este estudo de caso demonstra, conforme Tabela 4.7 uma problemática da DHL com relação ao processo logístico e como, com a utilização de ferramentas da I4.0 e Pesquisa Operacional (PO), a problemática foi resolvida.

Tabela 4.7: Estudo de Caso 1 – DHL (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da DHL. c2021)

Estudo de Caso 2: DHL	
Problemática: (antes da implantação de ferramentas da I4.0 & PO)	Logística: - Processos Manuais - Falta de mapeamento, monitoração e avaliação de riscos em toda a cadeia de abastecimento (Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos) - Falta de dados consolidados (análise de grande volume de dados) - Falta de visibilidade das ameaças às operações do dia-a-dia.
Objetivo:	Gestão de Riscos Logísticos - Processos digitais / automatizados - Monitoramento digital da cadeia de suprimentos, com dados reais imediatos - Gestão de Risco Integrada - Análise de dados consolidados (análise de grande volume de dados) para gestão de risco - Visibilidade em tempo real das ameaças às operações do dia-a-dia.
Solução de problema:	Desenvolvimento do aplicativo/software Resilience360 e Torres de Controle
Ferramentas da Indústria 4.0 (I4.0) utilizadas:	Computação em Nuvem (Cloud), Integração de Sistemas, Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), grande volume de dados (Big Data), Aprendizagem da máquina, IA
Ferramentas da Pesquisa Operacional utilizadas:	Programação

Este estudo também mostra, conforme Tabela 4.8 e detalhamento neste capítulo, os principais aplicativos utilizados pela empresa DLH para a solução do problema.

Tabela 4.8: Estudo de Caso 1 – DHL – Principais Aplicativos (Fonte: Compilação pelo Autor, baseada nos estudos da DHL. c2021)

Estudo de Caso 2: DHL - Principais Aplicativos	
a. Resilience360	Solução de gerenciamento de risco logístico baseada em Computação em Nuvem (Cloud) que mapeia, monitora e avalia os riscos em toda a cadeia de abastecimento.
b. Torres de Controle de Logística	Comando centralizado em que diversas fontes de informação em fluxos logísticos e condições de rede são consolidados como aviso prévio de potencial eventos perturbadores, a fim de gerenciar ameaças às operações do dia-a-dia.

De acordo com a visão desta importante empresa de logística e serviços (DHL, c.2021) a quarta revolução industrial está criando sistemas complexos e interdependentes de Cadeias de Suprimentos (Supply Chain), em engenharia e em manufatura. Para permanecerem seguras, eficientes e competitivas, as empresas precisam de abordagens novas, com tecnologias digitais capazes de apoiar este processo, fornecendo resiliência para a cadeia e gestão de risco logístico.

Entre os aplicativos/software e ferramentas utilizadas pela DHL para a gestão de risco da cadeia está o Resilience360 e as Torres de Controle, que também utilizam os aplicativos/software Resilience360.

a. Resilience360

As mudanças climáticas, a globalização e as atuais instabilidades políticas e sociais impuseram pressão nas cadeias de abastecimento. Para superar esse desafio, a DHL desenvolveu o Resilience360, que é uma solução de gerenciamento de risco logístico baseada em Computação em Nuvem (Cloud) que mapeia, monitora e avalia os riscos em toda a cadeia de abastecimento.

A plataforma do aplicativo/software Resilience360 é composta por quatro módulos principais.

1. Avaliação de Risco, que avalia o índice de exposição de cada cadeia de abastecimento, incluindo mapas de calor identificando as regiões de maior risco, um gráfico analítico de risco para cada país e aconselhamento especializado.
2. Monitoramento de incidentes em todo o mundo 24/360.
3. Torres de controle internacionais da DHL gerenciam incidentes de clientes durante o manuseio de cargas.
4. A visualização em mapas interativos das informações dos demais módulos, bem como de outros aspectos relevantes relacionados aos riscos, possibilitando também a integração com sistemas de monitoramento de clientes, entrada de alertas e aplicação de filtros para facilitar a visualização de riscos e incidentes em rotas ou locais específicos.

Outro diferencial da plataforma é o mapeamento de riscos na Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*), incluindo escala por fornecedor e mesmo dos prestadores de serviço subsequentes, o que permite o desenho de cadeias e rotas com menor exposição.

A mitigação de riscos nas cadeias logísticas traz como principal benefício a prevenção de perdas no transporte e armazenamento de produtos, seguida da redução da necessidade de estoques regulatórios e interrupções na produção.

Na 5ª Conferência Anual de Risco e Resiliência da DHL, realizada em 2019, a DHL apresentou como recursos recentes desenvolvidos na plataforma Resilience360 estão incorporando recursos de IA em toda a ferramenta e abrindo caminho para que organizações globais gerenciem de forma proativa os riscos da Cadeia de Suprimentos.

Usando mecanismos de classificação e filtragem colaborativa, o aplicativo/software Resilience360 é capaz de aplicar os algoritmos ao módulo de Monitoramento de Incidentes que forma a base da ferramenta.

A IA possibilita analisar milhões de fontes de dados de inteligência de risco diariamente e aplicar o aprendizado do comportamento do usuário para determinar a relevância de interrupções futuras, melhorando assim os recursos de autoaprendizagem da ferramenta, conforme Figura 4.15.

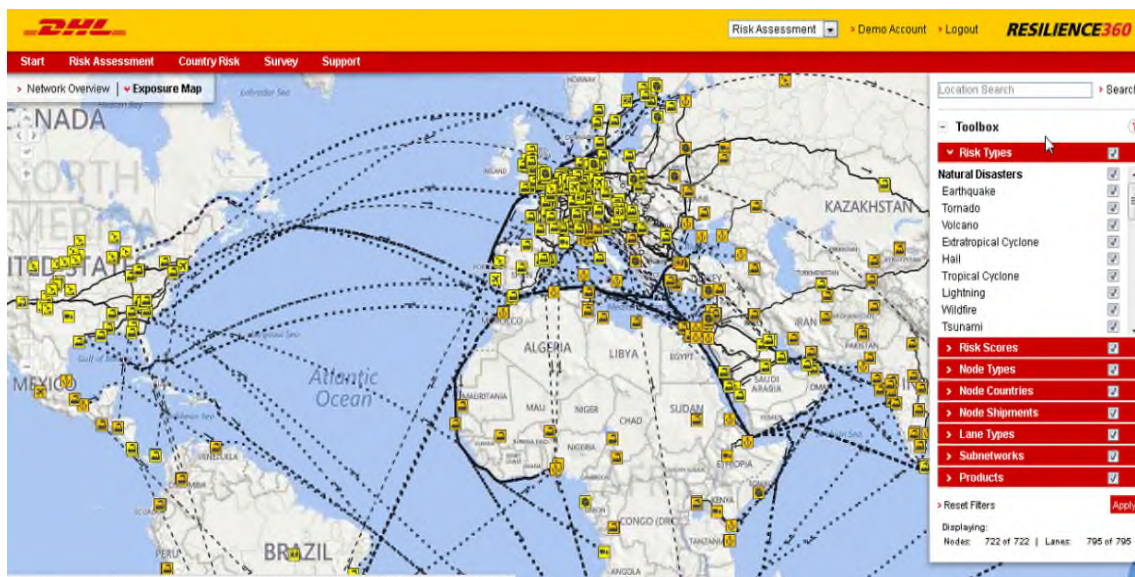


Figura 4.15 IA: análise milhões de fontes de dados (Fonte: HUTH, MICHAEL, 2014)

b. Torres de Controle de Logística

Uma torre de controle é um comando centralizado em que diversas fontes de informação em fluxos logísticos e condições de rede são consolidados como aviso prévio de potencial eventos perturbadores, a fim de gerenciar ameaças às operações do dia-a-dia.

As torres permitem, conforme Figuras 4.16 e 4.17 que as empresas mapeiem e visualizem toda a sua rede de abastecimento, incluindo produção, distribuição, clientes locais, rotas de transporte e abastecimento críticos, como portos, aeroportos e terminais de ferrovias.

O modelo de rede está ligado a informações de condições da remessa, do sistema de gestão de transporte interno da empresa e de seus parceiros externos de

logística, proporcionando total transparência sobre os dados da rede e a movimentação do material através dela.

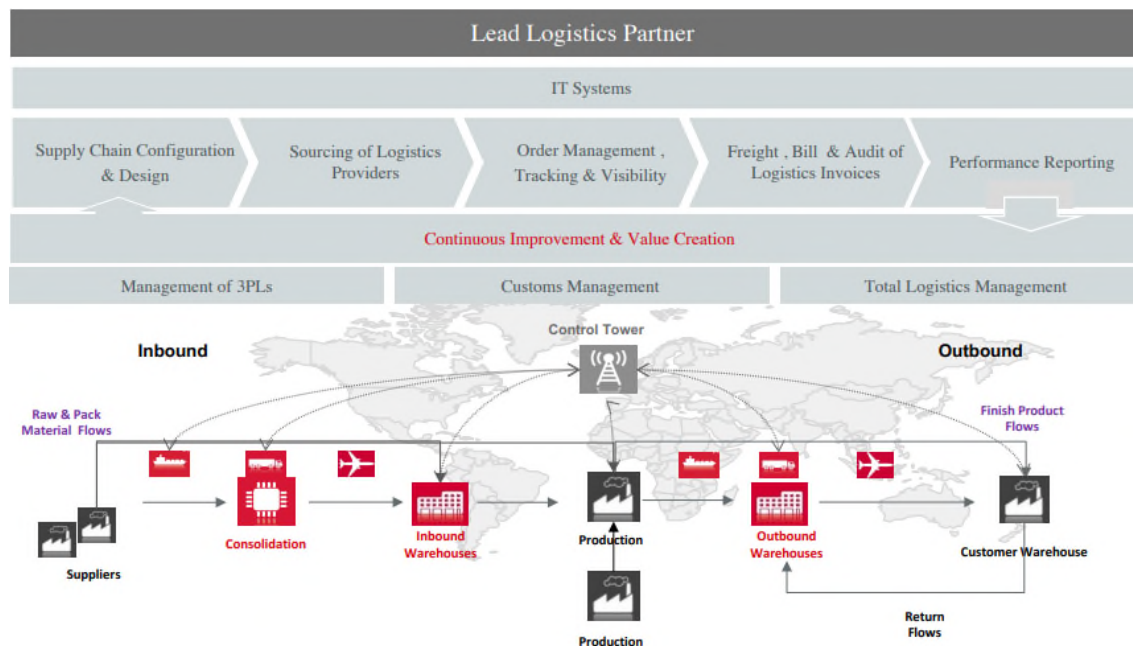


Figura 4.16 Torres de Controle – Mapeamento da Rede de Abastecimento
(Fonte: WindSCM.com. 2017)

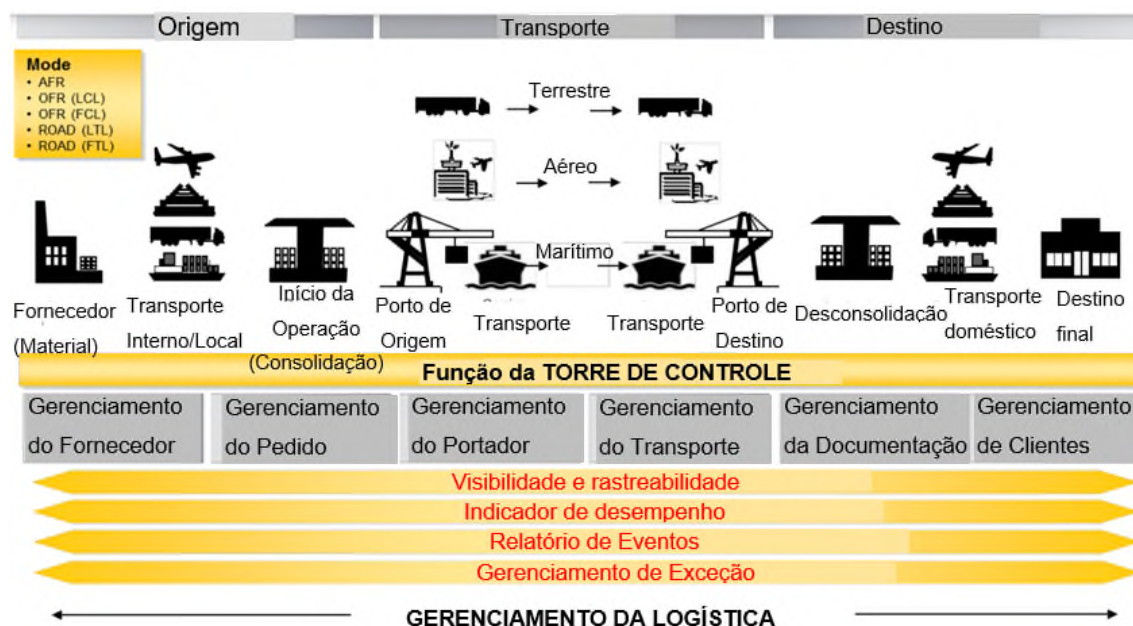


Figura 4.17 Mapa de Gerenciamento Logístico (Fonte: WindSCM.com, 2017)
– Tradução do Autor.

A empresa DHL tem como um dos clientes da tecnologia de Torres de Controle baseadas na plataforma Resilience360, a empresa Schneider Electric, empresa internacional de energia e automação digital. A Schneider Electric, segundo a DHL, opera uma rede de sete torres de controle da cadeia de abastecimento regional.

Segundo a Schneider Electric (DHL, c2021) as torres de controle têm dois papéis primários: a gestão proativa de exceções, e o suporte à gestão de risco geral para continuidade de negócios e planejamento de atividades de contingência.

Cada torre de controle é alimentada pelo aplicativo/software da DHL, o Resilience360, uma ferramenta digital baseada em plataforma de Computação em Nuvem (Cloud) de gestão de risco da cadeia que fornece visibilidade de rede ponta a ponta e monitoramento quase em tempo real de eventos globais. A Schneider Electric utiliza esta ferramenta para rastrear remessas em uma rede de 200 fábricas, 98 centros de distribuição, dezenas de locais de fornecedores e portos e aeroportos importantes.

Na maioria dos casos, o sistema permite à Schneider Electric a identificação de possíveis problemas e consequente tomada de decisão que permite atenuar ou sanar completamente o problema dentro de um prazo máximo de 24 horas da ocorrência de um evento de potencial perturbação ao sistema.

4.3 Conclusões

Neste capítulo foram apresentadas algumas aplicações de Inteligência Artificial (IA) na Indústria 4.0 (I4.0), através de estudo de casos com foco na “Indústria”, e dois estudos de casos com foco no agente da “Distribuição ou Logística” da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*), a partir da utilização de ferramentas da I4.0, tais como PO, IA e Big Data, para a melhoria de processos de uma Cadeia de Suprimentos, de forma a embasar os conceitos apresentados nos capítulos 2 e 3 deste trabalho.

No próximo capítulo desta Dissertação de Mestrado serão apresentadas as conclusões finais referentes às pesquisas realizadas que atenderam os objetivos

delineados para o desenvolvimento deste trabalho, e ainda uma visão referente às perspectivas futuras para a Cadeia de Suprimentos 4.0.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Esta Dissertação de Mestrado teve como principal objetivo apresentar um estudo exploratório baseado na utilização de ferramentas da I4.0, IA e Big Data, visando a melhoria de processos, e, para tanto, foram analisadas e apresentadas de forma sistematizada os conceitos de Transformação Digital e I4.0, a utilização de Inteligência Artificial (IA) na Cadeia de Suprimentos (Supply Chain) e Pesquisa Operacional (PO), e a utilização de um grande volume de dados (BIG DATA) disponíveis numa empresa.

Neste capítulo são apresentadas as conclusões referentes ao atendimento dos objetivos inicialmente propostos para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, que foram baseados no trabalho de revisão bibliográfica apresentado nos capítulos 2 e 3, e validados através de estudo de casos propostos no capítulo 4, onde foram apresentadas aplicações de IA na I4.0 e também aplicações com foco no agente da “Distribuição ou Logística” da Cadeia de Suprimentos.

No final deste capítulo será apresentado uma visão de perspectivas futuras referente a utilização de ferramentas da I4.0 para a melhoria de processos de uma cadeia de suprimentos.

5.1 Conclusões

Nesta Dissertação de Mestrado buscou-se apresentar de forma geral os conceitos das tecnologias e ferramentas disponibilizadas com as Revoluções Industriais, a Transformação Digital, a Pesquisa Operacional e finalmente a I4.0 (tais IA, Big Data, Data Analytics e Data Science, entre outras), de forma a disponibilizar e nivelar o conhecimento necessário para uma análise da utilização destas ferramentas para a melhoria de processos de uma cadeia de suprimentos.

A partir do conhecimento destas tecnologias e, considerando o cenário atual, onde a globalização aproximou os fornecedores e os clientes que estão localizados ao redor do mundo, impondo a exigência da procura por maior eficiência e redução de custos para melhorar a competitividade, e exigindo agilidade nos processos, pode-se

afirmar que a utilização das ferramentas da I4.0 é essencial para a melhoria de processos de uma cadeia de suprimentos.

Para responder ao objetivo desta Dissertação de Mestrado, que é o de apresentar a utilização de ferramentas da I4.0 para a melhoria de processos de uma cadeia de suprimentos, realizaram-se diversos estudos de casos, e, considerando o foco no agente da “Distribuição ou Logística” da Cadeia de Suprimentos, de forma sintetizada, apresenta-se a seguir os principais resultados alcançados através dos objetivos do estudo, a solução encontrada, e principais ferramentas da I4.0 e PO utilizadas.

a. Estudo de Caso 1: Bosch

- **Problemática** (antes da implantação de ferramentas da I4.0 & PO)

Logística:

- Planejamento logístico não integrado com a produção;
- Agentes da Cadeia de Suprimentos não Integrados entre si e em especial com a Logística;
- Falta de Controle e Monitoramento da carga/mercadoria durante o transporte;
- Controles Manuais
- Visibilidades desatualizadas
- Cadeia de Suprimentos desestabilizada
- Falta ou atraso na disponibilidade da mercadoria

- **Objetivo:**

Melhoria de processos da Logística, através da:

- Integração do planejamento logístico com a produção;
- Integração da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain);
- Controle Digitais da carga/mercadoria durante o transporte;
- Visibilidades em tempo real
- Cadeia de Suprimentos estável
- Disponibilidade do material contínua, conforme programação.

- **Solução de problema:** Desenvolvimento de aplicativos/software e sensores;

- **Ferramentas da Indústria 4.0 (I4.0) utilizadas:**

Computação em Nuvem (Cloud), Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), grande volume de dados (Big Data).

- **Ferramentas da Pesquisa Operacional utilizadas:** Programação

b. Estudo de Caso 2: DHL

- **Problemática** (antes da implantação de ferramentas da I4.0 & PO)

Logística:

- Processos Manuais
- Falta de mapeamento, monitoração e avaliação de riscos em toda a cadeia de abastecimento (Gestão de Riscos da Cadeia de Suprimentos)
- Falta de dados consolidados (análise de grande volume de dados)
- Falta de visibilidade das ameaças às operações do dia-a-dia.

- **Objetivo:**

Gestão de Riscos Logísticos

- Processos digitais / automatizados
- Monitoramento digital da cadeia de suprimentos, com dados reais imediatos
- Gestão de Risco Integrada
- Análise de dados consolidados (análise de grande volume de dados) para gestão de risco
- Visibilidade em tempo real das ameaças às operações do dia-a-dia.

- **Solução de problema:** Desenvolvimento do aplicativo/software Resilience360 e Torres de Controle

- **Ferramentas da Indústria 4.0 (I4.0) utilizadas:**

Computação em Nuvem (Cloud), Integração de Sistemas, Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), grande volume de dados (Big Data), Aprendizagem da máquina, IA

- **Ferramentas da Pesquisa Operacional utilizadas:** Programação

Finalmente, destaca-se a contribuição deste trabalho para a indústria, pois resume a utilização das novas tecnologias da I4.0, podendo servir de referência para aplicações futuras, destacando-se ainda, que nos dias atuais, onde muitas empresas

possuem uma estrutura clássica de produção baseada no uso de tecnologias isoladas ou com baixo índice de integração entre as áreas envolvidas, a utilização de novas tecnologias proporcionadas pela I4.0 possibilitam a integração sistêmica entre os diferentes setores de uma empresa, incluindo a Cadeia de Suprimentos.

5.2 Perspectivas Futuras

Com relação às perspectivas futuras da utilização de ferramentas da I4.0 para a melhoria de processos de uma cadeia de suprimentos, pode-se dizer que, considerando o cenário da globalização e a exigência da agilidade nos processos de fabricação e da Cadeia de Suprimentos, esta exigência só pode ser atendida através da utilização das tecnologias da I.4.

Entretanto, esta pesquisa não considera como as empresas em geral estão se estruturando para se adequarem as novas exigências mercadológicas geradas pela I4.0 e conseqüentemente em Suprimentos 4.0, e, em especial, quais ferramentas estão sendo utilizadas para a análise do grande volume de dados disponíveis.

Desta forma, sugere-se a realização de pesquisas futuras com foco em análise de dados (Data Science, Data Analytics e Machine Learning), considerando principalmente a utilização das ferramentas de Pesquisa Operacional para análise e triagem do grande volume de dados disponíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, c2021. Disponível em: <<http://portal.abepro.org.br>>. Acesso em 09 de Mar. de 2021.

ABUBAKER, Haddud, 2018. Procurement 4.0: factors influencing the digitalization of procurement and supply chains.

ANDRADE, E. L., 2002. Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

B2B STAK, c2021. Disponível em: <<https://www.b2bstack.com.br/categoria/destaque/cadeia-de-suprimentos-e-logistica>>. Acesso em: 30 de mar. de 2021

BEZERRA, Filipe, 2017. Cadeia de Suprimentos: do conceito à gestão. Disponível em: <https://www.portal-administracao.com>. Acesso em: 01 de Mar. de 2021.

BOSCH, ROBERT BOSCH LIMITADA, c2021. No caminho para a produção com zero defeito por meio da IA da Bosch. Disponível em: <https://www.bosch-press.com.br/pressportal/br/pt/press-release-35392.html>>. Acesso em: 29 de mar. de 2021.

BOSCH, ROBERT BOSCH LIMITADA, c2021. Logistics secures success. Disponível em < <https://www.bosch.com/company/supply-chain/logistics/>>. Acesso em 02 de abr. de 2021.

BOSCH, ROBERT BOSCH LIMITADA, c2021. Disponibilidade de Materiais: Conservação de Recursos e Estratégia de Transporte Global. Disponível em: <<https://www.bosch.com/company/supply-chain/logistics/>> Acesso em: 01 de abr. de 2021.

BRAOL TECNOLOGIA, c2021. O que é um sistema ERP?. Disponível em: <<https://braol.com.br/o-que-e-um-sistema-erp%E2%80%8B/>> Acesso em: 30/03/2021.

BRONSON, R., 1985. Pesquisa Operacional. Tradução Bernardo Severo da Silva Filho; Othon Guilherme Pinto Bravo. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

BUENO, Robson Elias, NUNES, Janaina Aparecida Ribeiro, GUIMARAES, Claudio Scheidt, BONILLA, Silvia Helena, 2018. Inferences of Industry 4.0 in Supply Logistics.

BUFREM, Leilah, E SILVA, Fábio, SOBRAL, Natanael, CORREIA, Anna, 2016. PRODUÇÃO INTERNACIONAL SOBRE CIÊNCIA ORIENTADA A DADOS: ANÁLISE

DOS TERMOS DATA SCIENCE E E-SCIENCE NA SCOPUS E NA WEB OF SCIENCE INTERNACIONAL. Publicado em: Informação & informação, 2016, Vol.21(2), p.40

COOPER, M. C ; LAMBERT,D.; PAGH,J., 1997. SMC-more than a new name for logistics. International Journal of Logistics Management, v.8, n.1, 1997.

CORIGUAZI, Diogenes Marcelo Cassiano, **SIMON,** Alexandre Tadeu, **ASSUMPCAO,** Maria Rita Pontes, 2017. Modelo de gestão da tecnologia e do conhecimento para a integração de sistemas físico-cibernéticos (CPS) aos processos logísticos das empresas. Revista Exacta, 2017, Vol.15(4), p.27(15)

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A., 2004. Administração de Produção e Operações: manufatura e serviços. São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, M. A. B., 1997. Pesquisa operacional aplicada à Agroindústria. In **BATALHA, M.O** (Coord.). Gestão Agroindustrial. Volume 2. São Paulo: Atlas, 1997.

COVACI, Florina Livia, 2018. Automated Supply Chain Formation – A Theoretical Framework.

DHL, c.2021. DHL RESILIENCE360 CONFERENCE. Disponível em: <<https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/events/innovation/resilience-360-conference.html>>. Acesso em: 01 de Marc. De 2021.

FACULDADE MULTIVIX, c2021. Tecnólogo em Logística: um profissional cada dia mais requisitado. Disponível em: <https://multivix.edu.br/blog/tecnologo-em-logistica-um-profissional-cada-dia-mais-requisitado/>>. Acesso em: 30 de Mar. de 2021.

FAIAS, Otávio. 2021. Cadeia de Suprimentos: Como Ele ajuda a Logística do Seu Supermercado. BLUESOFT. Disponível em: <<https://blog.bluesoft.com.br/cadeia-de-suprimentos/>>. Acesso em: 29 de mar. de 2021.

FLOW TECHNOLOGY, c2021. O Futuro da sua Empresa. Disponível em: <<http://flowtech.pt/pt/flow-manufacturing/>> Acesso em: 30/03/2021.

G. Rafael, c2021. O Que É Atendimento Omnichannel e Sua Importância no Ecommerce. JIVOSITE INC. Disponível em: <<https://www.jivochat.com.br/blog/ecommerce/o-que-e-atendimento-omnichannel.html>>. Acesso em: 30 de mar. de 2021.

GOOGLE, c2021. Bosch InTrack. Disponível em: <<https://www.google.com/search?q=bosch+InTrack&sxsrf=ALeKk01efES8qZx8aXpCbVLNKQKT3GIdEA:1617399209682&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj>

5ujKweDvAhUOTN8KHcDDASMQ_AUoA3oECAIQBQ&biw=1366&bih=657#imgrc=lG4lp9dFh_vNdM>. Acesso em: 01 de abr. de 2021.)

HUTH, MICHAEL, 2014. Gerenciamento de risco da cadeia de suprimentos: a faca suíça da **DHL**. Disponível em: <<http://supply-chain-risk-management.blogspot.com/2014/11/dhls-swiss-knife-revisited.html>> Acesso em: 01 de abr. de 2021.

KRAVCHENKO, Alla, **KYZYMENKO**, Iryna, 2019. The Forth Industrial Revolution: New Paradigm of Society Development or Posthumanist Manifesto.

LAMBERT, D.M, **COOPER**, MC; **PAGH, J.D.**, 1998. Supply Chain Management: Implementation issues and research opportunities. The International Journal of Logistics Management, v.9, n.º2, p 1-19, 1998

LEIGUS, Alisson, **FENERICH**, Amanda Trojan, **MORAIS**, Márcia de Fátima, 2009. Aplicações da Pesquisa Operacional. Fecilcam – Campo Mourão – PR – 2009. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/anais/iii_eepa/pdf/3_02.pdf>. Acesso em: 01 de Mar. de 2021.

LEMAY, Steve, **HELMS**, Marilyn M., **KIMBALL**, Bob, **MCMAHON**, Dave, 2017. Supply chain management: the elusive concept and definition. The International Journal of Logistics Management, vol. 28 no. 4

LISBOA, E., 2002. Pesquisa Operacional. Apostila do curso, 2002. Disponível em: <<http://www.ericolisboa.eng.br>>. Acesso em: 01 de Mar. de 2021

LOBO, Luiz Carlos, 2017. Inteligência Artificial e Medicina. Publicado em: Revista Brasileira de Educação Médica, 01 June 2017, Vol.41(2), pp.185-193.

MARCOS, Camillo Gabriel, **VASCONCELLOS**, Silvio Luis de, **AMAL**, Mohamed, 2020. CAPACIDADES DIGITAIS: UMA REVISAO BIBLIOMETRICA/DIGITAL. Publicado em: Future Studies Research Journal: Trends and Strategy, 2020, Vol.12(3), p.483(28) 2020, capes

MARTINEZ, Felipe, 2019. Process excellence the key for digitalization.

MEIRA, Gisele Beheregaray Argollo, **CORTIMIGLIA**, Marcelo Nogueira, **LESO**, Bernardo Henrique, 2017. Kanban Eletrônico para otimização de processos internos e externos da cadeia de suprimentos: aplicação em uma empresa do setor automotivo. Revista Gepros

MELO, Gabriel, 2020. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, GESTÃO EMPRESARIAL E O FUTURO DO TRABALHO NO BRASIL. Rev. Mundo Livre, Campos dos Goytacazes.

MELO, Nilo Américo Fonseca de, **PESSANHA**, Angélica Maria Batista, **ROCHA FILHO**, Sérgio Murilo Daruis. 2011. ESTUDO DA APLICAÇÃO DO SOFTWARE ARENA

EM UM CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO DE MANUTENÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO. Publicado em: Perspectivas Online. Exatas e Engenharias.

MITCHELL, Tom, **JORDAN**, Michael I, 2015. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Publicado em: Science 349, 255 (DOI: 10.1126/science.aaa8415)

MORALES ZAPATA, Oscar Stiven, 2018. Desenvolvimento de uma estrutura para seleção de pedidos no contexto da indústria 4.0 / Oscar Stiven Morales Zapata.

MOSER, Alvino., **KOLBE JÚNIOR**, Armando, 2020. Competências para a transformação digital: Desafios para a educação superior. *Metodologias E Aprendizado*. Disponível em: <<https://doi.org/10.21166/metapre.v1i0.1122>>. Acesso em: 1 de Mar. de 2021.

OLIVEIRA NETTO, A. A.; **TAVARES**, W. R., 2006. Introdução à Engenharia de Produção. Florianópolis: Visual Books

PIX FORCE, c2021. Presente e futuro entrelaçados: Entenda a 4ª Revolução Industrial. Disponível em: <<https://pixforce.com.br/presente-e-futuro-entrelacados-entenda-a-4a-revolucao-industrial/#>>>. Acesso em: 29/03/ 2021.

REHFELDT, Márcia Jussara Hepp, 2015. Estudo da viabilidade dos usos da pesquisa operacional em uma vinícola da Serra Gaúcha

RODRIGUES, Bruno Felipe da Silva, **SANTOS**, João Paulo de Oliveira, **BACHEGA**, Stella Jacyszyn, 2013. Interdisciplinaridades entre Pesquisa Operacional e Ciência da Computação. Disponível em: < [interdisciplinaridades-entre-pesquisa-operacional-e-ciencia-da-computacao-2013.pdf](#)>. Acesso em: 01 de Mar. de 2021.

RODRIGUES, Luís Henrique, **AHLERT**, Fabiano, **LACERDA**, Daniel Pacheco, **CAMARGO**, Luis Felipe Riehs, **LIMA**, Pedro Nascimento de, 2014. Pesquisa Operacional – Programação Linear Passo a Passo: do Entendimento do Problema à Interpretação da Solução.

ROSS, D.F., 2011. Introduction to Supply Chain Management Technologies. 2 ed. CRC Press.

RUSSEL, Stuart, **NORVIG**, Peter, 2013. Inteligência Artificial - Artificial Intelligence: A Modern Approach. Editora Pearson

SANTO, Bárbara Espírito, c2021. Blockchain na Agricultura: a revolução na cadeia de alimentos. **PARIPASSU**. Disponível em: <<https://www.paripassu.com.br/blog/blockchain-na-agricultura/>>. Acesso em: 30/03/2021.

SANTOS, M. P; **SOUZA**, J. V; **MORAIS**, M. F., 2008. A simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão. ENCONTRO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, Campo Mourão. Editora da Fecilcam, 2008.

SAS INSTITUTE BRASIL LTDA, c2021. Disponível em: <https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/machine-learning.html>. Acesso em: 29/03/2021

SAUVAGE, Marc, 2018. Définition : Transformation Digitale en 2019 et ses enjeux + exemple. Disponível em: <<https://www.inboundvalue.com/blog/que-signifie-la-transformation-digitale-en-2000-mots>>. Acesso em 01 de Marc 2021.

SHEIN, Esther. 2021. 5 segredos da Transformação Digital. Disponível em: <<https://cio.com.br/gestao/5-segredos-da-transformacao-digital/>>. Acesso em: 29/03/2021.

SIEMENS AG, c2021. Disponível em: <<https://new.siemens.com/global/en/markets/pharma-industry/paperless-manufacturing.html>>. Acesso em: 30 de Mar. de 2021

SINDICATO DOS METALÚRGICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO E MOGI DAS CRUZES. Encontro discute inserção do trabalhador na indústria 4.0. Disponível em: <<https://metalurgicos.org.br/industria-4-0/encontro-discute-insercao-do-trabalhador-na-industria-4-0-2/>>. Acesso em: 29/03/ 2021.

SOBRAPO – Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, c2021. Disponível em: <<https://www.sobrapo.org.br/>>. Acesso em: 01 de Mar. de 2021.

STRANGE, Roger, 2017. Industry 4.0, global value chains and international business

TECLOGICA, c2021. Transformação digital: conheça 5 tendências para a TI em 2018. Disponível em: <<https://blog.teclogica.com.br/transformacao-digital-tendencias-ti-2018/>>. Acesso em: 29 de Mar. de 2021.

TECMARAN Consultoria e Implantação de Sistemas de Planejamento, Programação e Controle da Produção, c2021. Opcenter APS Aplicações na Indústria Farmacêutica e de Cosméticos. Disponível em: <<https://www.tecmaran.com.br/blog?topic=APS>> e <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/5916/1610970003E-Book_Opcenter_APS_no_setor_Farmacutico_e_de_Cosmticos.pdf>. Acesso em: 17 de Abr de 2021.

TECMARAN Consultoria e Implantação de Sistemas de Planejamento, Programação e Controle da Produção, c2021. Casos de Sucesso em Diversos Setores

- Granado. Disponível em: <https://www.tecmaran.com.br/estudo_de_caso/8>. Acesso em: 17 de Abr de 2021.

TOTVS SA, c2021. Disponível em <<https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/cadeia-de-suprimentos-na-era-4-0/#:~:text=Por%20isso%2C%20uma%20gest%C3%A3o%20de,seus%20fluxos%20internos%2C%20os%20externos.&text=Nesse%20caso%2C%20como%20veremos%20adiante,Elas%20tamb%C3%A9m%20entregam%20informa%C3%A7%C3%B5es%20estrat%C3%A9gicas>>. Acesso em 30 de Mar. de 2021

TUBINO, D. F., 2000. Manual de Planejamento e Controle da Produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

VALE S.A., c2021. Vale iniciará testes para implantação da operação autônoma em caminhões fora de estrada em Carajás. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-iniciara-testes-para-implantacao-da-operacao-autonoma-em-caminhoes-fora-de-estrada-em-carajas.aspx#:~:text=A%20Vale%20iniciar%C3%A1%2C%20em%20novembro,aut%C3%B4nomos%20na%20mina%20de%20Caraj%C3%A1s.&text=Os%20sensores%20do%20sistema%20de,estejam%20nas%20imedia%C3%A7%C3%B5es%20da%20via.>>. Acesso em: 29 de mar. de 2021.

VALE S.A., c2021. Transformação Digital: drones aumentam a eficiência operacional das inspeções. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/transformacao-digital-drones-aumentam-a-eficiencia-operacional-das-inspecoes.aspx>>. Acesso em: 29 de mar. de 2021.

VALE S.A., c2021. Projeto da Vale no Peru aumenta em 22,6% durabilidade de pneus gigantes usados em mina, c2021. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/projeto-vale-peru-aumenta-durabilidade-pneus-gigantes-usados-mina.aspx>>. Acesso em: 29 de mar. de 2021.

VALE S.A., c2021. Vale implanta Centro de Operações Integradas em Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/vale-implanta-centro-operacoes-integradas-minas-gerais.aspx>>. Acesso em: 29 de mar. de 2021.

VASCONCELLO, Luis Rigato, OLIVEIRA, Felipe Steiner de, 2019. Adoção de Blockchain e Digitalização do Bill of Lading na Cadeia de Importação de Contêineres. Revista Gepros

VILELA, Bruno de Almeida, **ALVES**, Camila de Souza, **FERREIRA**, Rui Fernando Correia, **FREITAS**, Kenyth Alves de, **SOUZA**, Wesley Canedo, **JUNIOR**, 2016. Coordenação em cadeias de suprimentos: o papel da tecnologia da informação e da gestão orientada por processos. Revista Exacta.

WindSCM.com., c2021. DHL PRESENTATION REFERENCE GROUP MEETING MARCH 29. Disponível em: <<http://windscm.com/sites/default/files/DHL%20Presentation%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 01 de abr. de 2021.

ZAHIR, Irani, 2016. Call for papers on JBR Special Issue on Big Data and Analytics in Technology and Organizational Resource Management. Publicado em: Journal of business research, August 2015, Vol.68 (8), pp.VI-VII

c2021. Programação Não Linear. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/epd015/files/2010/06/ProgramacaoNaoLinear.pdf>>. Acesso em: 01 de Mai de 2021.