

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE
TECNOLOGIA DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Lucas Ferreira Chaguri

INDÚSTRIA 4.0: uma revisão sobre os requisitos mínimos para sua implementação
em indústrias de processos

São Carlos, SP
2022

LUCAS FERREIRA CHAGURI

INDÚSTRIA 4.0: uma revisão sobre os requisitos mínimos para sua implementação
em indústrias de processos

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química
pela Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Do Carmo
Ferreira

São Carlos
2022

C433

Chaguri, Lucas Ferreira.

Indústria 4.0: uma revisão bibliográfica sobre os requisitos mínimos para sua implementação / Lucas Ferreira Chaguri. — [2022].

69 f.

Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado –
Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

1. Indústria 4.0. 2. Revoluções Industriais. 3. Melhoria Contínua. I. Título.

Indústria 4.0: uma revisão sobre os requisitos mínimos para sua implementação em indústrias de processos

Lucas Ferreira Chaguri

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Orientadora

Maria Do Carmo Ferreira

Docente do Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos

Adriana Paula Ferreira

Docente do Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos

Murilo Ferreira Chaguri

Engenheiro de vendas - Valmet

RESUMO

O setor industrial sempre enfrentou grandes mudanças que foram marcadas, principalmente, pelas grandes revoluções industriais. Cada uma delas trouxe novas tecnologias, novos métodos produtivos e grandes avanços ao setor, para conseguir atender de forma mais rápida e eficaz o cliente final. Atualmente, está acontecendo uma nova revolução industrial, um movimento que teve início na Alemanha e que originalmente era focado apenas na manufatura, mas que devido a rápida evolução da globalização e do IOT (*The Internet of Things*) já está tomando conta de todos os demais setores das companhias. Essa revolução é denominada de Indústria 4.0 e ao contrário das outras revoluções, essa não acontece apenas dentro da indústria, mas conecta toda a cadeia de valor, até o cliente final, coletando e processando dados de cada etapa do processo e, através dessas informações, promove melhorias contínuas tanto na questão produtiva quanto na experiência do cliente. Sendo assim, o objetivo deste trabalho de graduação é apresentar o que é a Indústria 4.0 e quais são seus principais pilares, bem como discutir qual o nível mínimo de maturidade que uma empresa precisa possuir para conseguir implementar as tecnologias da Indústria 4.0, levando em consideração a infraestrutura para a aplicação das novas tecnologias, a transformação cultural que deve ocorrer para atender às novas necessidades e, por fim, apresentar uma avaliação das dificuldades e desafios que uma indústria química enfrenta para alcançar os requisitos mínimos necessários para a implementação das tecnologias de quarta geração.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Revoluções industriais; Melhoria contínua; Maturidade; Cultura Organizacional; *Lean Manufacturing*; Infraestrutura de rede.

ABSTRACT

The industry sector has always faced big changes that were marked, mainly, by necessary industry revolutions. Each one has brought new technologies, new production methods, and big progress to the sector, in order to satisfy the final client, fast and efficiently. Nowadays, a new industrial revolution has been happening. Such a movement started in Germany and was originally focused only on manufacturing. However, due to the fast evolution of globalization as well as IOT (The Internet of Things), it has already been spreading in all areas of companies. This revolution is called Industry 4.0 and contrary to other revolutions, it does not take place only inside the industry, but connects all the value chain, until the final client, collecting and processing data in each stage of the process, promoting continuous improvement as productivity issues as in the clients' experience. Therefore, the aim of this study is to present what Industry 4.0 is and its main bases, as well as discuss the minimum maturity level that a company needs to have to implement the Industry 4.0 technologies, taking into account the infrastructure to apply new technologies, cultural transformation that should happen to attend new demands, and finally to present an evaluation of difficulties and challenges that a process industry faces, in order to achieve the minimum requirements to implement the fourth generation technologies.

Keywords: Industry 4.0; Industrial Revolutions; Continuous Improvement.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Tear Mecânico	15
Figura 2: Método fordista de produção	16
Figura 3: Método Taylorista de produção	16
Figura 4: Produção robotizada de veículos.	17
Figura 5: Os 9 pilares da Indústria 4.0.....	19
Figura 6: Dispositivos interligados.....	20
Figura 7: Ponte futurista feita com impressora 3D	21
Figura 8: Casa da produção Lean.....	27
Figura 9: Mapeamento de fluxo de valor estado atual	29
Figura 10: Mapeamento do fluxo de valor estado futuro	29
Figura 11: Estágios de desenvolvimento digital	32
Figura 12: TI e a criação de valor para o negócio	33
Quadro 1: Quadro de resumo dos estágios necessários para a digitalização. .	35
Figura 13: Capacidades necessárias para cultura organizacional em uma Indústria 4.0	40
Figura 14: Fluxograma Linha de Enchimento.....	42
Figura 15: Posto de Colocação Manual de SE.....	44
Figura 16: Placa de Selagem	45
Figura 17: Fluxograma da Linha de Blistagem	46
Figura 18: Análise de Causa-Raiz do problema.....	47
Figura 19: Desenho técnico do robô SCARA.....	49
Figura 20: Elevador-Silo	50
Figura 21: Painelas Vibratórias	50
Figura 22: Sistema de calhas	51
Figura 23: Esteiras Taliscadas	51
Figura 24: Robô SCARA Fanuc.....	52
Figura 25: Fluxograma resumido do sistema Pick and Place e de Inspeção.....	52
Figura 26: Indicadores de performance setembro de 2020	54
Figura 27: Indicadores de performance fevereiro de 2021	54
Figura 28: Número de parada de qualidade em setembro de 2020.....	56
Figura 29: Número de parada de qualidade em fevereiro de 2021	56

Figura 30: Layout linha produtiva fevereiro de 2021.....	57
Quadro 2: Quadro de comparação entre custos (Set/20 - Fev/21).....	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. A EVOLUÇÃO DAS INDÚSTRIAS.....	14
2.1. Primeira Revolução Industrial	14
2.2. Segunda Revolução Industrial	15
2.3. Terceira Revolução Industrial	16
3. QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	17
3.1. História	17
3.2. Princípios da Indústria 4.0	18
3.3. Pilares da Indústria 4.0.....	18
3.3.1. Internet das Coisas	19
3.3.2. Big Data.....	20
3.3.3. Robótica Autônoma	21
3.3.4. Manufatura Aditiva.....	21
3.3.5. Computação nas Nuvens	22
3.3.6. Cyber Segurança.....	22
3.3.7. Simulação	22
3.3.8. Realidade Aumentada.....	23
3.3.9. Integração dos Sistemas	23
3.4. Diferenças notáveis entre a Indústria 3.0 e 4.0	23
4. ANÁLISE DE MATURIDADE	24
4.1. Otimização de processos	25
4.1.1. Principais conceitos sobre Lean Manufacturing.....	26
4.1.2. Contexto Histórico	26
4.1.3. Caracterização do Lean	26
4.1.4. Principais Ferramentas do Lean	28
4.2. Infraestrutura de rede	31
4.2.1. Informatização	32
4.2.2. Conectividade.....	34
4.2.3. Visibilidade	35
4.2.4. Transparência.....	35
4.2.5. Capacidade de previsão	35

4.2.6. Adaptabilidade.....	36
4.3. Cultura organizacional	36
5. ESTUDO DE CASO.....	40
5.1. Apresentação da empresa	40
5.2. Processo de Fabricação	41
5.3. Identificação das causas raízes	46
5.4. Execução técnica do projeto	48
5.4.1. Pick And Place automatizado.....	48
5.4.2. Sistema de Visão.....	49
5.4.3. Princípio de Funcionamento do sistema Pick and Place e de Inspeção Visual Automática integrados.....	50
5.4.3.1. Abastecimento de aparelhos aplicadores	50
5.4.3.2. Painelas Vibratórias.....	50
5.4.3.3. Sistema de calhas e Esteiras taliscadas.....	51
5.4.3.4. Robô eixo.....	51
5.4.3.5. Robô SCARA FANUC.....	52
5.5. Resultados Obtidos.....	52
6. DISCUSSÃO	58
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
8. REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

A globalização é um assunto que vem sendo muito discutido nos últimos anos, principalmente pelos efeitos e desafios gerados por esse processo. Porém, alguns autores tratam esse tema como um processo de evolução constante que ocorre desde tempos passados, podendo, segundo Silva (2008) e Warnier (2002), ser dividido em 3 grandes períodos.

Resumidamente, pode-se dizer que o primeiro período corresponde ao século XV, em que o processo de ganho territorial se deu pelo mar, fenômeno denominado Expansão Marítima. Já o segundo período foi caracterizado pela Revolução Francesa juntamente com a primeira Revolução Industrial, no século XVIII. Por fim, o último período se deu em meados do século XX, que foi a terceira Revolução Industrial e possibilitou a quebra das últimas barreiras para a implementação total do processo de globalização no mundo.

Apesar de ter acontecido em meados do século XX, a terceira Revolução Industrial chegou de forma tardia no Brasil, tendo uma mudança perceptiva a partir dos anos 90 (industrialização tardia). Junto da Revolução Industrial, vieram os desafios associados a ela, que foram principalmente a grande expansão da globalização, a rápida transformação tecnológica, novas exigências relacionadas ao meio ambiente, novos modelos de trabalhos e grande incerteza sobre o futuro, obrigando as empresas a se adaptarem de forma rápida e contínua a essas mudanças a fim de manter sua competitividade e longevidade perante a uma forte concorrência (KOORNHOF, 2003). Essas problemáticas são abordadas pelo conceito de mundo VUCA (sigla para *Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity* - Volatilidade, Incerteza, Complexidade e Ambiguidade, em tradução livre), que explica a importância de se adaptar às mudanças e eventos imprevistos que caracterizam o mundo atual.

O dia a dia pode trazer, certamente, uma sensação errônea de que as transformações seguem um fluxo natural e constante, porém o evento pandêmico da COVID-19 trouxe à tona como a sociedade está sujeita à imprevisibilidade do futuro, e como isso pode transformar significativamente o nosso estilo de vida. Diante desses fatos, as empresas necessitam de ferramentas poderosas para estar em constante transformação e atender as demandas e mudanças repentinas do mercado.

Em resposta a essas mudanças apresentadas pelo conceito de mundo VUCA, as empresas, atualmente, passam pela quarta Revolução Industrial, popularmente conhecida como Indústria 4.0, termo que surgiu pela primeira vez em 2011 em Hannover, na Alemanha (KAGERMANN, 2013, apud SAKURAI, ZUCHI, 2018). Inicialmente, o conceito de Indústria 4.0 nasceu como forma de digitalizar e automatizar o processo de produção de uma indústria (SAKURAI, ZUCHI, 2018). Porém rapidamente essas tecnologias influenciam outras áreas da empresa, trazendo impactos desde a produção até a cultura organizacional delas.

Sendo assim, este estudo visa apresentar a evolução das Revoluções Industriais no Brasil e os principais conceitos da Indústria 4.0, bem como destacar as diferenças entre a Indústria 4.0 e a Indústria 3.0. Além disso, será discutida a maturidade mínima necessária para a implementação das tecnologias da quarta Revolução Industrial abordando três pilares principais para implementação, a saber: infraestrutura de rede, processos e cultura organizacional. Por fim, será apresentado um exemplo em que serão discutidas as dificuldades e os desafios enfrentados pela indústria química, para alcançar os requisitos necessários para a implementação da Indústria 4.0.

Espera-se com este estudo, contribuir para difundir o conceito de Indústria 4.0 e apresentar uma síntese dos requisitos mínimos necessários para que as empresas brasileiras evoluam para as tecnologias 4.0. Como houve uma industrialização tardia no país, pode acontecer de indústrias que ainda não atingiram um nível aceitável de industrialização proveniente da 3ª revolução industrial queiram aderir às tecnologias da Indústria 4.0, ação que não é recomendada.

Como forma de fundamentar o estudo presente, foi feita uma revisão de livros e artigos relacionados com o tema. Por fim, será apresentada uma conclusão com uma síntese e as principais impressões sobre o estudo feito.

De forma a nortear o leitor, o estudo apresentado está dividido da seguinte maneira: (1) Apresentação das 3 primeiras revoluções industriais e as principais características de cada uma delas; (2) Uma descrição da Indústria 4.0, abordando a história e os principais pilares dessa revolução; (3) As principais diferenças entre as tecnologias e as aplicações da 3ª Revolução Industrial para a 4ª Revolução Industrial; (4) Maturidade mínima para os processos produtivos, em que serão apresentados os conceitos básicos de *lean manufacturing* e como a evolução dessa prática se conecta com a produção em uma Indústria 4.0; (5) Maturidade mínima de infraestrutura de

rede para implantação das tecnologias 4.0, em que serão abordadas as características principais necessárias para a automação e digitalização dos processos; (6) Cultura Organizacional desejável para uma indústria 4.0, em que será apresentado o modelo de cultura organizacional desejado para implantação das tecnologias de quarta geração.

2. A EVOLUÇÃO DAS INDÚSTRIAS

É inegável que a indústria é responsável por grandes transformações na sociedade, sobretudo no que se refere ao âmbito econômico e social. Ao longo dos anos, o setor industrial foi o grande responsável pela aceleração do crescimento econômico mundial (MARSON, 2014).

A evolução da tecnologia foi fator determinante para garantir o desenvolvimento das indústrias, pois possibilitou mais dinamismo, eficiência e qualidade no trabalho.

Para entender de fato a quarta revolução industrial, se faz necessário entender um pouco sobre os processos das 3 primeiras revoluções industriais.

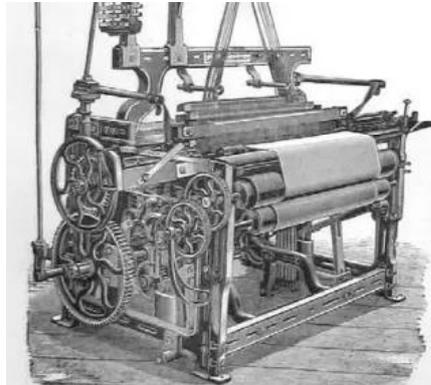
2.1. Primeira Revolução Industrial

O acelerado crescimento populacional e a necessidade de lucros cada vez maiores evidenciaram ao mundo que o sistema produtivo manual já não fazia mais sentido e a exigência de um novo método de produção se fazia cada vez mais presente na sociedade (SAKURAI, ZUCHI, 2018).

Segundo Boettcher (2015), a primeira revolução industrial aconteceu na Inglaterra entre 1760 e 1860 e posteriormente alcançou outros países, como França, Bélgica, Holanda, Rússia, Alemanha e Estados Unidos.

Impulsionado pela descoberta do carvão como fonte de energia, da máquina a vapor e a locomotiva (VENTURELLI, 2017), o sistema produtivo começou a ganhar uma nova forma, saindo da produção manufatureira para o sistema de “maquinofatura”, tendo as empresas têxteis como pioneiras no uso de máquinas de fiar e do tear mecânico, mostrado na Figura 1. Posteriormente essas indústrias sofreram um grande impulso devido ao aperfeiçoamento da máquina a vapor (IGLÉSIAS, 1984).

Figura 1: Tear Mecânico



Fonte: Wikimedia Commons (2021)

2.2. Segunda Revolução Industrial

Diferentemente da primeira revolução industrial, a Indústria 2.0 teve o desenvolvimento simultâneo em diversos países, como: Estados Unidos, Japão, França, Alemanha e Itália. (SOUSA, 2016).

Tendo seu início por volta de 1870, foi impulsionada pela descoberta e utilização da eletricidade e do petróleo (CARDOSO, 2016). Além disso, foi marcada pela divisão do trabalho ao longo da linha produtiva, que tinha como objetivo uma produção em massa a preços mais baixos para garantir uma maior gama de consumidores. Baseado nesse conceito, o americano Henry Ford criou um modelo de produção, conhecido como Fordismo (SCHAFER, 2015), em que as peças chegavam aos funcionários, por uma esteira rolante, que possuíam um trabalho bem definido e dividido ao longo de uma linha produtiva. Esse modelo visava reduzir os custos e acelerar o processo de fabricação, a Figura 2 exemplifica tal modelo.

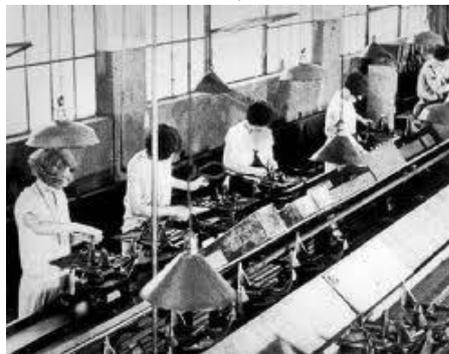
Figura 2: Método fordista de produção



Fonte: Site “Conhecimento científico”

Outro marco importante da segunda revolução industrial, foi o Taylorismo, que também foi baseado na divisão do trabalho, porém cada operário realizava apenas uma única tarefa e com tempo determinado. Frederick Taylor, criador do Taylorismo, sugeriu o pagamento de bonificação para os funcionários que batessem as metas de produção previamente estipuladas (NUNES, 2015). A Figura 3 exemplifica tal modelo produtivo.

Figura 3: Método Taylorista de produção



Fonte: Site Clube de Arquitetura (2010)

2.3. Terceira Revolução Industrial

Denominada como Revolução Técnico-Científica e Informacional, a terceira revolução industrial surge, predominantemente, como consequência de avanços tecnológicos do século XX e XXI (SILVA et al, 2012).

Marcada por novidades tecnológicas, sobretudo nas áreas de informática, robótica, telecomunicações, transportes, biotecnologia, química fina, e nanotecnologia (BOETTCHER, 2015), tal revolução possibilitou um ganho de produtividade significativo (PENA, 2016). Além disso, outro marco importante é de que a produção

em massa foi substituída pela produção em lote, garantindo a alta demanda e a redução de estoque. Nesse modelo, os produtos passaram a ter um maior valor agregado para compensar o tempo gasto em seu desenvolvimento (PETRIN, 2014).

Um ponto importante a ser destacado é a robótica, que teve como intuito substituir o trabalho humano, principalmente em tarefas repetitivas e perigosas, dando maior velocidade ao processo, melhorando a qualidade do serviço e reduzindo os custos (CARRARA, 2015). Vale ressaltar que na Indústria 3.0 a robótica exerce trabalhos repetitivos e ainda não é capaz de se adaptar, de forma autônoma, a possíveis adversidades. A Figura 4 demonstra a utilização de robôs na produção de veículos.

Figura 4: Produção robotizada de veículos.



Fonte: Site UOL - Mundo educação

3. QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

3.1. História

O termo Indústria 4.0, como é popularmente conhecido, foi utilizado pela primeira vez na Alemanha em 2011 (KAGERMANN, 2013, apud SAKURAI, ZUCHI, 2018), em um projeto que tinha como objetivo aumentar a produtividade nas empresas da Alemanha, lançando mão do uso de alta tecnologia (CARDOSO, 2016).

Em 2012, o grupo responsável pelo projeto apresentou ao governo alemão um relatório onde foram detalhadas as estratégias utilizadas para a implementação das tecnologias 4.0 nas indústrias (CARDOSO, 2016). Tais tecnologias, responsável pelo início da quarta revolução industrial, são, principalmente, a robótica avançada que se trata de robôs autônomos capaz de se adaptar e aprender de forma autônoma, a realidade aumentada que permite a interação entre o ambiente real e virtual, a computação em nuvem que permite manter os dados e informações de forma online

e os sensores acompanhados da Internet das Coisas que permite a conexão entre os sistemas físicos com a geração de dados para uma melhor tomada de decisão e gestão fabril e empresarial.

Finalmente, em 2013, numa feira em Hannover aconteceu uma apresentação sobre o tema, mostrando uma nova visão industrial para o mundo. (SILVEIRA, 2017).

3.2. Princípios da Indústria 4.0

Segundo Silveira (2017), existem 6 princípios da Indústria 4.0 que são indispensáveis para a implementação das tecnologias 4.0, sendo eles:

- Capacidade de operação em tempo real - Capacidade de acompanhar e analisar dados do processo produtivo em tempo real, otimizando a produção e tomando decisões mais assertivas.
- Virtualização - Prevê a instalação de sensores em todo e qualquer tipo de equipamento industrial garantindo uma rastreabilidade e monitoramento remoto
- Descentralização - A tomada de decisão passa a ser no modelo cyber - físico e além de receber as informações, as máquinas passam a emitir informações sobre seus ciclos de trabalho
- Orientação de Serviços - Orientação de serviços baseado em softwares aliados ao conceito de internet das coisas, tendo como vantagem a padronização de métodos e processos específicos
- Modularidade - Produção feita apenas de acordo com a demanda, possibilitando a adição ou subtração de módulos de produção ao longo do ano devido a sazonalidade de algum negócio
- Interoperabilidade - Capacidade de comunicação em tempo real entre homem e máquina através da internet das coisas.

3.3. Pilares da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 possui 9 pilares que são considerados essenciais para gerar um alto nível de integração entre as tecnologias que formam o conceito 4.0. Segundo Estévez (2016) estes pilares envolvem tecnologias já utilizadas, porém a introdução das mesmas no sistema produtivo resultará num padrão de Indústria 4.0

A Figura 5 mostra esses 9 pilares que serão explicados com detalhes ao longo desta seção.

Figura 5: Os 9 pilares da Indústria 4.0



Fonte: Site Altus Sistemas de Automação (2019)

3.3.1. Internet das Coisas

Para Schwab (2016), o termo define “a relação entre coisas (produtos, serviços, lugares) e pessoas, por meio de plataformas e tecnologias conectadas”. Em outras palavras, a internet das coisas permitirá a troca de informações e a conexão entre objetos físicos, maquinários, veículos e pessoas por meio de dispositivos embarcados. Um exemplo prático do dia a dia: é possível conectar o smartphone à geladeira, informando ao usuário quais itens estão em falta (NETSCAN, 2014).

A Figura 6 demonstra a quantidade de objetos usuais do dia a dia que podem estar interligados e gerar informações para o usuário.

Figura 6: Dispositivos interligados



Fonte: Site Na Prática (2020)

Segundo Firjan (2016), a internet das coisas causará modificações tanto no consumo quanto em meios de produção, estimulando a criação de novos negócios para suprir a demanda de objetos inteligentes utilizados no dia a dia.

3.3.2. Big Data

Segundo Sas (2016), Big Data se refere ao grande volume de dados e informações armazenados que são importantes para tomadas de decisões mais assertivas, insights e planejamentos estratégicos das empresas. A aplicação desse pilar na Indústria 4.0 se dá através dos 6Cs, que tem como objetivo trabalhar com as informações mais relevantes, sendo eles: Conexão, Cloud, Cyber, Conteúdo, Comunidade e Customização (SILVEIRA, 2017).

3.3.3. Robótica Autônoma

Diferentemente do que ocorre na terceira revolução industrial, em que robôs são programados para executar tarefas repetitivas e únicas, a robótica da Indústria 4.0 prevê robôs que possam executar tarefas distintas, identificar o ambiente ao seu redor e até aprender novas funções de maneira autônoma, tornando o processo mais dinâmico e flexível. (GARCIA, 2016).

3.3.4. Manufatura Aditiva

Popularmente conhecida como impressão 3D, a manufatura aditiva é o pilar menos desenvolvido da Indústria 4.0 devido à limitação das impressoras atuais (GIORDANO, ZANCUL e RODRIGUES, 2016). Porém seu potencial é enorme e pode trazer inúmeros benefícios, como produtos cada vez mais customizados e com preços reduzidos, além de ter uma ampla aplicação, sendo possível produzir desde peças de decoração até próteses cirúrgicas (Cardoso 2016). A Figura 7 mostra uma ponte feita a partir de impressão 3D.

Figura 7: Ponte futurista feita com impressora 3D



Fonte: Lisboa (2021)

3.3.5. Computação nas Nuvens

Computação nas nuvens pode ser definido como “banco de dados capaz de ser acessado de qualquer lugar do mundo em milissegundos, por meio de dispositivos conectados à internet” (RUBMANN et al., 2015, p. 6-7).

Atualmente as empresas utilizam esse recurso para dois objetivos principais: redução de custos devido a aquisição de servidores e licenças de software (MICROSOFT, 2016) e para aperfeiçoar o gerenciamento de seus processos em um ambiente mais colaborativo, o que permite maior rapidez no compartilhamento de informações e ideias. Assim é possível criar, simular e testar novos produtos (GE, 2016).

3.3.6. Cyber Segurança

Com as empresas cada vez mais conectadas e com os dados sendo alocados na nuvem, é importante que haja uma forte segurança de dados e dos sistemas das empresas. Sendo assim, as companhias devem evoluir constantemente suas defesas contra ataques cibernéticos (UMUC, 2016).

Um estudo realizado pela KASPERSKY mostrou que 35% das anomalias encontradas em redes industriais são frutos de ciber invasão.

3.3.7. Simulação

A simulação tem uma grande importância no chão de fábrica das empresas, capaz de aproximar o mundo virtual do real, é possível simular todas as etapas do processo produtivo tendo inúmeros ganhos, como por exemplo, ergonômicos em uma simulação que visa o movimento dos operadores (FIGUEREDO, 2012) e a ganhos de eficiência mudando a configuração de maquinários e medição de resultados antes da implementação no mundo físico (CARDOSO, 2016).

3.3.8. Realidade Aumentada

Esse pilar tem um ponto fundamental para as empresas, pois através da sua aplicação torna-se possível entender, por exemplo, o funcionamento de cada maquinário através de projeções virtuais, facilitando o entendimento e a aplicação de treinamentos para os funcionários (VADHER, 2015).

3.3.9. Integração dos Sistemas

Esse pilar, como o próprio nome sugere, visa integrar todos os sistemas contidos na empresa e externos a ela. Internamente, a integração permitirá uma conexão entre o chão de fábrica e os níveis corporativos dando maior dinamismo, flexibilidade e reduzindo os custos no processo produtivo. Externamente, tem-se a conexão com toda a cadeia de valor, interligando fabricantes, logística e consumidores, e gerando mais informações úteis para o aprimoramento dos produtos e criação de novos negócios (ARKTIS, 2016).

3.4. Diferenças notáveis entre a Indústria 3.0 e 4.0

A robótica, a digitalização e a informatização estão presentes tanto na Indústria 3.0 quanto na Indústria 4.0, porém o que diferencia essas duas revoluções, no que se refere a essas tecnologias, é a aplicação.

A robótica na indústria 3.0, como demonstrado anteriormente, é utilizada para trabalhos repetitivos sem a necessidade de adaptação autônoma, ou seja, o aumento da produtividade se dá pela maior velocidade e maior tempo de trabalho dos robôs em relação aos trabalhadores. Já na Indústria 4.0 a robótica tem como característica o uso da inteligência artificial, que possibilita aos robôs analisarem o ambiente ao redor, aprender novas funções de maneira autônoma e otimizar cada vez mais o trabalho com o passar do tempo.

A digitalização e a informatização por sua vez também apresentam diferenças entre as duas revoluções. Enquanto na terceira revolução industrial, essas surgem como tecnologias únicas e sem integração, na quarta revolução elas estão integradas entre si e com todos os outros dispositivos presentes na indústria.

4. ANÁLISE DE MATURIDADE

Tendo em vista esse entendimento macro sobre as revoluções industriais e os principais pontos da Indústria 4.0, será apresentada uma análise sobre a maturidade mínima necessária para a implementação das tecnologias 4.0 em uma empresa. Tal análise consistirá em uma revisão crítica da literatura, ou seja, será apresentado informações contidas na literatura, bem como opiniões do autor sobre os diversos temas apresentados.

De acordo com (KAGERMANN, WAHLSTER; HELBIG, 2013), existem 6 pontos chaves a serem seguidos para se ter uma boa estratégia de implementação da indústria 4.0, sendo eles:

- Normalização e referência arquitetural: Para ser capaz de integrar os diferentes sistemas e projetos, são necessárias uma padronização geral e uma arquitetura de referência para a elaboração dos projetos.
- Infraestrutura de comunicação para o setor industrial: A fim de conseguir extrair o máximo de informações dos sistemas e manter uma troca de informações estável e de qualidade em todo setor industrial, é necessária uma boa comunicação de banda larga.
- Segurança da informação: Como o principal objetivo da Indústria 4.0 é a intercomunicação entre todos os sistemas, é necessária uma forte proteção de dados nas empresas.
- Reorganização do trabalho: Com o intuito de otimizar ao máximo os processos, as tecnologias 4.0 mudarão o modo de trabalho e novas habilidades deverão ser desenvolvidas, bem como uma reestruturação cultural deverá ser seguida.
- Regulamentação: Com a quarta revolução industrial ocorrendo, novas regulamentações e novos limites devem ser estabelecidos, portanto, é importante aderir às novas leis e regulamentações.
- Utilização eficiente dos recursos: Preocupações ambientais são de extrema importância e é essencial que, para se manter competitiva, a Indústria 4.0 se mostre capaz de utilizar os recursos de forma eficaz e com menor danos ao meio ambiente.

Segundo pesquisas da CNI (2016), aproximadamente 76% das empresas brasileiras encontram - se utilizando tecnologias de 1º e 2º geração, o que mostra um atraso considerável na modernização das indústrias nacionais. Sendo assim, nossa análise de maturidade vai focar em três dos seis pontos citados acima, sendo eles, utilização eficiente dos recursos (abordado na seção “Otimização de Processos”), infraestrutura de comunicação para o setor industrial (abordado na seção “Infraestrutura de Rede”) e reorganização do trabalho (abordado na seção “Cultura Organizacional”).

4.1. Otimização de processos

Fundamentada em soluções tecnológicas, como visto anteriormente, as tecnologias da Indústria 4.0 chegam para superar as complexidades dos meios de produção e elevar a industrialização a um novo patamar. Todavia, segundo (SHAHIN et al., 2020; SONY, 2018; TORTORELLA et al., 2019), aplicar diretamente as tecnologias 4.0 no setor industrial pode gerar um fenômeno que pode ser denominado como "digitalização e automatização dos desperdícios".

Claramente há ganhos em se aplicar as tecnologias da 4ª revolução Industrial nas companhias. Porém, previamente, deve-se eliminar todo e qualquer tipo de problema causado por má gestão ou processos mal estruturados. Nesse sentido, temos que um pré-requisito fundamental para a aplicação das tecnologias 4.0 é o Lean Manufacturing (LM) (DOMBROWSKI et al., 2017).

De acordo com (TORTORELLA et al., 2019), a manufatura enxuta forma um alicerce bem estruturado para uma melhoria de processos de forma contínua, sempre buscando um maior valor agregado para o cliente.

Uma vez que o LM é fundamental para uma empresa evoluir para a Indústria 4.0, serão apresentados os principais conceitos do Lean Manufacturing, bem como um exemplo de estudo de caso para uma indústria química. Posteriormente serão abordadas as principais dificuldades e sugestões de implementação.

4.1.1. Principais conceitos sobre Lean Manufacturing

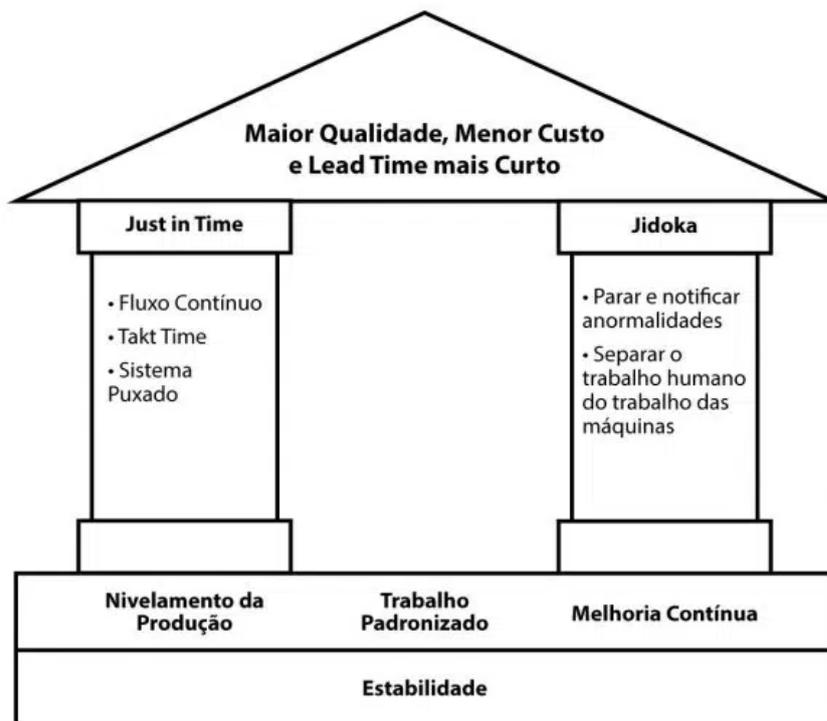
4.1.2. Contexto Histórico

O termo lean teve sua origem após um estudo, do Massachusetts Institute of Technology (MIT), sobre empresas automotivas no final dos anos 80. Tal estudo buscava mapear as melhores práticas desse setor industrial. Como resultado, obteve-se uma larga superioridade da Toyota, que havia desenvolvido um novo sistema de gestão e produção que era notavelmente melhor que os de seus concorrentes. Esse novo sistema de produção muito mais ágil, inovador, eficiente e flexível foi nomeado de Lean Manufacturing (HINO, 2009).

4.1.3. Caracterização do Lean

Como mencionado anteriormente, o sistema LM tem sua base pautada na eliminação de desperdícios. Além disso, há também outras características importantes, como sua metodologia de aplicação e seus dois pilares, o just-in-time ou JIT, e a Autonomia ou Jidoka. A Figura 8 exemplifica como esse sistema está estruturado.

Figura 8: Casa da produção Lean



Fonte: Setec Consulting Group

Just in time pode ser entendido como “no momento certo” e faz referência a entrega de produtos ao cliente no tempo correto e na quantidade exata, sem a geração de estoque ou atrasos, fatores que implicam diretamente na produtividade e lucratividade (OHNO, 1997).

Jidoka pode ser compreendido como “transferência de conhecimentos humanos para máquinas” e faz referência a um sistema autônomo, capaz de identificar anormalidades no processo e parar seu funcionamento (OHNO, 1997). A grande vantagem desse pilar é criar um sistema a “prova de erros” evitando produtos defeituosos ou uma super produção, devido a capacidade do maquinário de se auto programar ou emitir alertas quando há alguma inconsistência produtiva.

O sistema lean tem como objetivo principal satisfazer as necessidades do cliente, com a entrega de um produto altamente qualificado, a um custo reduzido e com o menor tempo de entrega possível. Além disso, assegura um ambiente de trabalho cooperativo e seguro. (LEAN WAY CONSULTING, 2014).

4.1.4. Principais Ferramentas do Lean

Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping*) é um diagrama simples, que visa identificar todas as etapas necessárias para que a matéria prima recebida se transforme em um produto de qualidade para o cliente final (FERNANDES, GOMES, GODINHO, 2006).

Cada etapa do fluxo é representada pelos seguintes elementos:

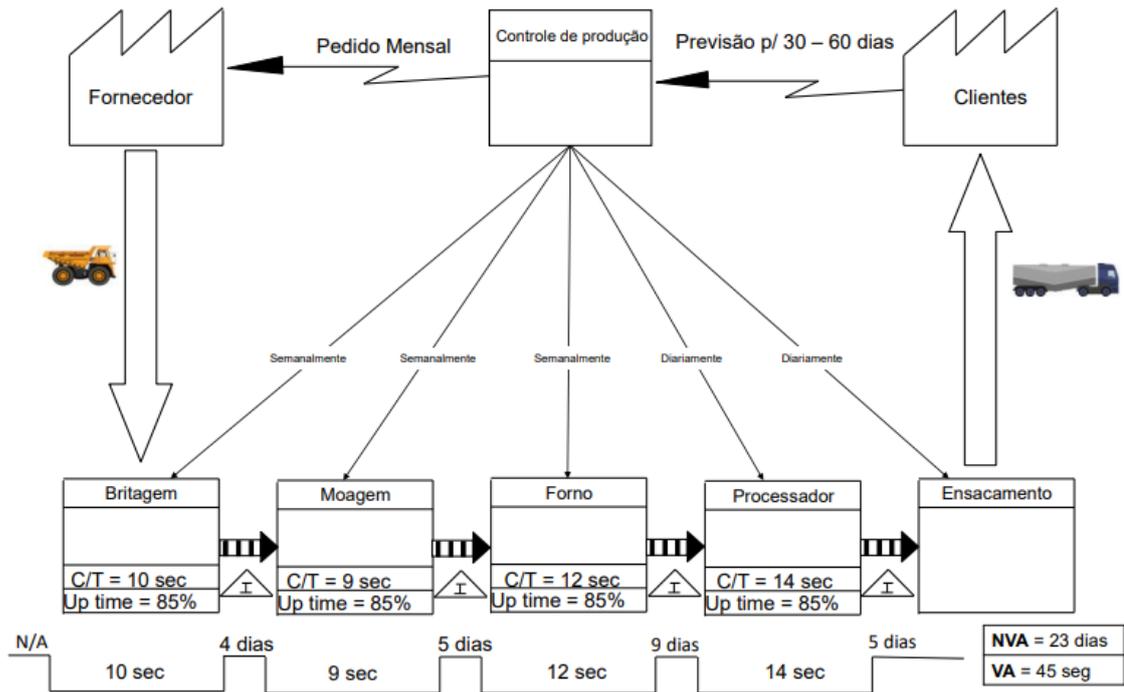
- Caixa de processo: As etapas do processo são representadas por uma caixa, que significa a ação feita, com as seguintes informações: Quem?; Como?; O que?
- Caixa de dados: Essa contém algumas informações importantes do processo, como: tempo de Processamento (TP) tempo real utilizado em cada etapa do processo; % Completo e Correto (CC) - percentual de vezes que o produto passa para a próxima etapa em perfeito estado; Número de Pessoas envolvidas (P).

Com base nessas informações, métricas são calculadas, levando em conta os melhores e os piores cenários. Tais métricas são:

- Tempo gasto no processamento
- Tempo de espera entre as etapas
- Número total de pessoas envolvidas
- Total de % CC
- Tempo gasto no processo como um todo.

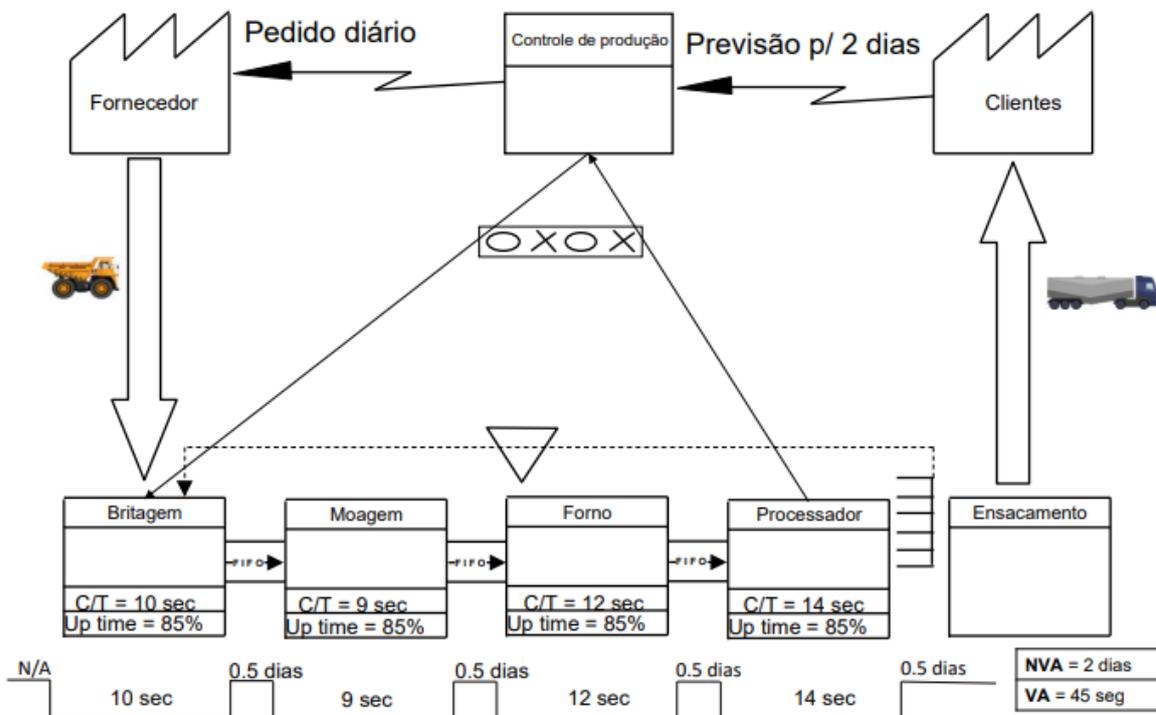
Como forma de ilustrar esse fluxograma, a Figura 9 mostra um mapeamento de fluxo de valor genérico, em um estado primário, e a Figura 10 traz o mapeamento num estado secundário, após melhoria de processo.

Figura 9: Mapeamento de fluxo de valor estado atual



Fonte: Elaboração própria

Figura 10: Mapeamento do fluxo de valor estado futuro



Fonte: Elaboração própria

Quando se compara as duas figuras, o primeiro ganho notável é a diminuição do NVA (Not Value Aggregate), ou seja, a diminuição no tempo de atividades que não agregam valor ao produto final, esse fato ocorre, principalmente, pela reprogramação de produção, que anteriormente era entre 30 e 60 dias e posteriormente passa ser para 2 dias. Isso faz com que a produção seja feita de forma “puxada” ao invés de "empurrada", o que gera um menor nível de estoque entre as etapas, dessa maneira é possível reduzir o desperdício e a depreciação da matéria prima, além de permitir a identificação de alguma inconsistência na produção de forma mais rápida. Outra ação que traz um ganho para o processo é a comunicação do controle de produção, que antes era passado de forma semanal para cada etapa do processo, no estado atual há uma comunicação ao final cada lote produzido para que seja possível nivelar e balancear a produção de acordo com as necessidades da empresa, o que evita uma superprodução.

Segundo Pinto (2014) é importante observar que o MFV (mapeamento de fluxo de valor) não é um fluxograma de processo. O fluxograma de processo pode servir como auxílio para se caminhar sobre o MFV, porém esse não traz informações como perda de tempo, paradas desnecessárias, processos redundantes, etc.

- PROGRAMA 5S: Este programa foi criado no Japão com o intuito de organizar o ambiente de trabalho, trazer melhores condições e qualidade. Segundo Goleman (1999), o programa foi gerado a partir de 5 palavras japonesas, sendo elas:
 - Seiri - Senso de utilização: Refere - se à prática de eliminar todo e qualquer obstáculo que venha atrapalhar o trabalho. Ou seja, identificar e separar todo tipo de objeto e ferramenta útil para o trabalho e guardar ou se desfazer de materiais desnecessários.
 - Seiton - Senso de Organização: Refere - se à prática de eliminar qualquer movimentação desnecessária. Ou seja, tudo deve ser devidamente colocado em seu lugar, com as sinalizações e observações necessárias.
 - Seiso - Senso de Limpeza: Refere - se à prática de limpar o ambiente de forma cotidiana. Ou seja, equipamentos, máquinas, objetos, devem ser limpos constantemente.
 - Seiketsu - Senso de Padronização: Refere - se à prática de padronizar tarefas e procedimentos. Ou seja, toda ação deve ser feita seguindo regras e normas, sendo a gestão visual um fator fundamental para esse senso.

- Shitsuke - Senso de Autodisciplina: Refere - se a praticar constantemente os 4 “S” anterior, entendendo que um bom olhar futuro para a empresa se dá por atitudes no presente.
- *JUST-IN-TIME*: Trata - se de uma reorganização do ambiente produtivo, visando a eliminação de todo desperdício. De acordo com Ohno (1997) todo material e processo envolvido na fabricação de um produto são utilizados apenas nas horas necessárias, sendo assim, uma empresa que consegue atingir eficientemente esse sistema de produção pode zerar o seu estoque.
- *KANBAN*: Essa ferramenta se baseia no fato de que a produção industrial sempre é comandada pela linha de montagem final (HUANG, KUSIAK,1996). Nesse caso, a linha de montagem recebe o programa de produção e vai utilizando as peças disponíveis para a montagem, quando as peças acabam, a linha de montagem manda um sinal para a etapa anterior informando a necessidade de novas peças e assim ocorre de forma sucessiva. Esse é um princípio que busca evitar o acúmulo de estoque, garantindo a máxima lucratividade do negócio.

Nota-se que os conceitos de LM são pautados na melhora de eficiência dos processos produtivos, tendo sempre o cliente como foco principal. Sendo assim, fica claro a sua importância para que uma empresa consiga evoluir para as tecnologias 4.0. Para exemplificar melhor as dificuldades de implantação do LM e os ganhos que ele pode trazer, será apresentado mais à frente um exemplo resumido de estudo de caso de implementação do LM na linha de produção de uma indústria química.

4.2. Infraestrutura de rede

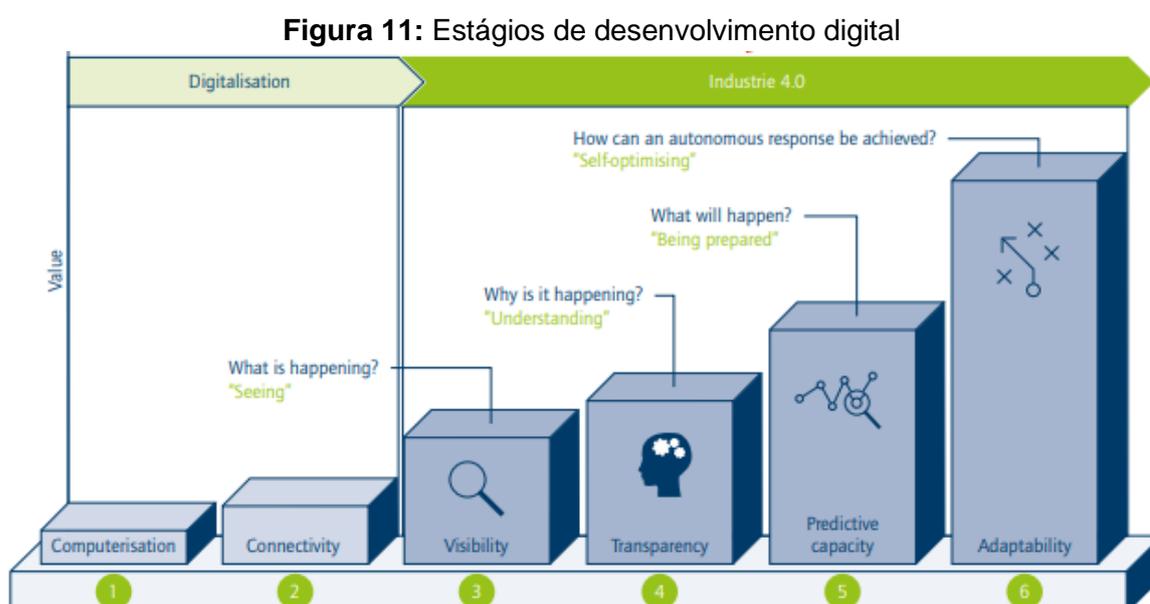
A digitalização é um requisito básico para que as empresas, independentemente do setor, consigam avançar nas tecnologias 4.0. Pode - se dizer então que as companhias necessitam de uma boa maturidade digital para seguir as evoluções tecnológicas propostas pela quarta revolução industrial.

Segundo um estudo realizado pela Acatech - Academia Nacional de Ciência e Engenharia da Alemanha (SCHUH et al, 2017), há seis estágios de maturidade referentes a tecnologias digitais que uma empresa pode possuir, sendo eles:

- Informatização;
- Conectividade;
- Visibilidade;

- Transparência;
- Capacidade de previsão;
- Adaptabilidade.

Como mostrado na Figura 11 a seguir, os dois primeiros estágios fazem parte da digitalização e são indispensáveis para as empresas que desejam atingir a maturidade digital mínima para implementar as tecnologias 4.0. Sendo assim, será feita uma análise mais detalhada desses estágios e uma síntese dos demais.

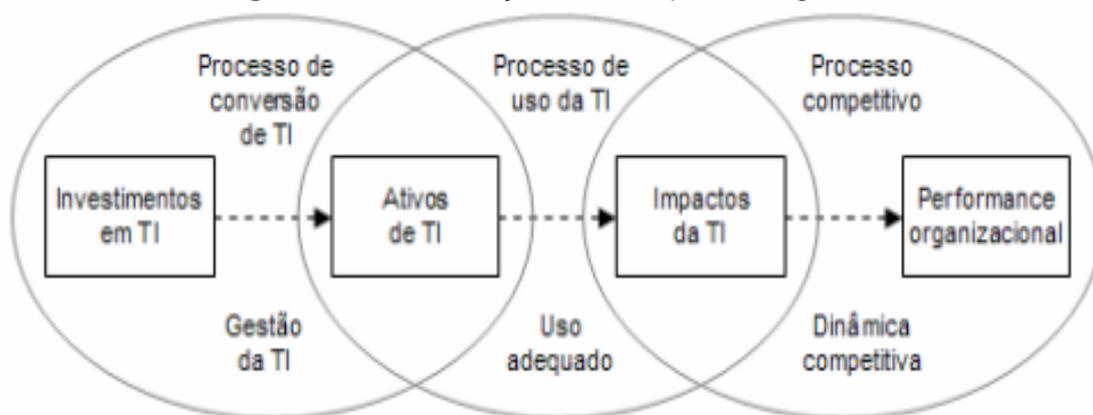


Fonte: Schuh et al (2017)

4.2.1. Informatização

A base da digitalização é a informatização, nesse primeiro estágio temos diferentes tecnologias sendo implementadas na empresa de modo separado, ou seja, as tecnologias não possuem conexão entre si (SCHUH et al, 2017).

Uma análise profunda de maturidade de informatização leva em consideração não apenas os ativos de TI, mas se eles são usados da forma correta para gerar valor ao negócio da companhia. Como forma de exemplificar os benefícios ligados à informatização das empresas, Soh e Markus (1995) sintetizaram um modelo que é mostrado na Figura 12 a seguir.

Figura 12: TI e a criação de valor para o negócio

Fonte: Soh e Markus (1995)

A figura detalha os eventos necessários para que o desenvolvimento de informatização ocorra, porém vale ressaltar que cada evento e/ou resultado é necessário para a obtenção do evento seguinte, todavia não o suficiente. Para obter resultados de performance é necessário um bom uso dos ativos de TI. Para atingir esses objetivos há alguns modelos propostos, como por exemplo, o modelo de dez dimensões, proposto por Mahmood e Soon (1991), que mostra como a TI pode influenciar a organização.

Para que haja uma performance satisfatória nas empresas é necessário que os ativos de TI estejam disponíveis para uso, sendo eles, segundo (ZWICKER et al, 2007):

- Estrutura de TI flexível e adequada: estrutura de fácil entendimento e que possa ser moldável ao longo do tempo para acompanhar a evolução da companhia. Nesse sentido, para avaliação de informatização existem indicadores que medem quantidade de dispositivos (computadores, sensores, etc), conectividade interna, conectividade externa e mecanismos de defesa;
- Aplicações integradas: Conjunto de ações integradas e bem definidas de acordo com a estratégia da empresa, proporcionando a troca de informações e a administração de diversas atividades empresariais;
 - Avaliação da qualidade dos sistemas utilizados em cada área da companhia (marketing, vendas, produção, etc.), bem como uma análise da integração de sistemas que vai desde sistemas isolados até sistemas totalmente integrados (fase de conectividade). E por fim se os sistemas utilizados são adequados para o tipo de negócio proposto

- Pessoas Capacitadas: Profissionais de TI treinados e capacitados para gerenciar e aplicar as atividades propiciadas pela informatização.

Esses ativos aplicados de maneira correta e estratégica, garantem um grau de informatização adequado para a empresa.

4.2.2. Conectividade

Aplicada a informatização, tem-se a base para o processo de digitalização da empresa. Posteriormente se faz necessário aplicar o processo de conectividade em que as tecnologias aplicadas de forma isoladas anteriormente são transformadas ou substituídas por tecnologias que agem de maneira conectada entre si e espelham os principais negócios da empresa (SCHUH et al, 2017).

Importante ressaltar que nesse estágio a tecnologia operacional já fornece conectividade e interoperabilidade, todavia não há a integração total desse sistema com os sistemas de TI. O IP (Internet Protocol), principal protocolo de comunicação na internet, também já faz parte desse estágio e está presente até mesmo no chão de fábrica, garantindo a conexão e a troca de informações entre os processos (SCHUH et al, 2017).

Este é um dos estágios mais importantes da infraestrutura de rede, levando em conta uma evolução para tecnologias 4.0, pois é um ponto indispensável para aplicação da internet das coisas que será responsável pela integração de todos os setores da companhia (SCHUH et al, 2017).

A tabela 1 mostra um resumo das principais características de cada um desses dois primeiros estágios.

Quadro 1: Quadro de resumo dos estágios necessários para a digitalização.

Informatização	Conectividade
Investimentos em ativos de TI (computadores, sensores, softwares, sistemas, etc)	Sistemas com conectividade e interoperabilidade.
Utilização dos ativos de forma separada, cada ação desempenha uma única função dentro da empresa, sem haver uma conectividade entre processos e sistemas	Há uma integração tanto na tecnologia operacional como na tecnologia da informação, porém de forma separada.
Mecanismos de defesas contra ataques cibernéticos	Há presença de IP e sistemas ERP (sistema integrado de gestão empresarial)
Contratação de profissionais de TI e aplicação de treinamentos para formação de novos profissionais.	

Fonte: Elaboração própria.

4.2.3. Visibilidade

Neste estágio todos os sensores, sistemas e ações estão conectados e operando de forma conjunta. Qualquer atividade realizada na companhia será observada em tempo real, sendo assim as tomadas de decisão são baseadas em dados (SCHUH et al, 2017).

4.2.4. Transparência

Aqui entra o pilar de big data da Indústria 4.0, onde todos os dados gerados são organizados de forma estruturada a fim de entender interações complexas e uma base sólida para ser analisada e aplicada no próximo estágio.

4.2.5. Capacidade de previsão

Com a base de dados do estágio anterior, a empresa é capaz de simular e prever situações futuras, tanto no processo produtivo, como por exemplo, avaliando a necessidade de manutenções preventivas ou mudanças no fluxo de produção, quanto na avaliação de cenários futuros, tomando decisões estratégicas mais assertivas.

4.2.6. Adaptabilidade

O estágio mais avançado da Indústria 4.0, em que os sistemas são capazes de identificar perturbações e se adaptarem de forma autônoma.

4.3. Cultura organizacional

Segundo (SCHNEIDER et al, 2017), a cultura organizacional era, até o início da década de oitenta, um tema pouco estudado. De acordo com (CAMERON, ETTINGTON, 1998; SCHEIN, 2004), isso se deve ao fato de que naquela época não havia um consenso entre estudiosos sobre a definição do tema, isso dava diferentes perspectivas ao assunto, o que dificultava a integração de um conceito universal.

O assunto tomou relevância no final da década de 70 (SCHEIN, 2004), quando se verificou que indústrias norte-americanas apresentavam um desempenho muito inferior quando comparadas com companhias de outros locais com culturas totalmente diferentes.

Em 1979, Pettigrew foi o primeiro a investigar e definir o conceito de cultura organizacional de uma maneira mais universal. Sua investigação serviu como base para diversas pesquisas e nos anos seguintes foram publicados inúmeros estudos abordando o tema de cultura organizacional de diversas empresas (SCHNEIDER et al., 2017).

De acordo com Pettigrew (1979), a cultura organizacional pode ser entendida como conjunto de símbolos, linguagem, ideologias, crenças, rituais e mitos que são geridos e transferidos entre os membros de um mesmo grupo. Já Cameron e Quinn (2005) afirmam que a cultura organizacional compreende valores, expectativas, memórias e pressupostos que definem normas e guiam a forma, de um determinado grupo, de pensar, sentir e comportar.

Dada sua definição, é importante entender que a cultura organizacional não representa, necessariamente, todo indivíduo ou grupo de uma empresa. Pois, dentro de uma companhia podem existir diversas subculturas e cada uma dessas pode criar e transmitir seus próprios valores. Porém cada uma dessas subculturas pode partilhar de pensamentos comuns com outras subculturas, formando, então, uma cultura organizacional global.

Segundo Davies et al. (2017), devido às interações complexas entre pessoas e tecnologias, a Indústria 4.0 foi reconhecida como um sistema sociotécnico. Diferentemente do passado, em que os líderes podiam influenciar diretamente os seus funcionários em atividades e tomada de decisões, atualmente eles devem promover a liberdade e a diversidade nas ações de seus colaboradores, formando um ambiente cada vez mais engajado e inovador (SCHULZE, PNKOW, 2020). Isso se deve ao fato de que as tecnologias 4.0 deixam, cada vez mais, as ações descentralizadas para que as tomadas de decisões ágeis e assertivas.

Com as mudanças geradas pela quarta revolução industrial, a prontidão empresarial é crucial para a implementação das novas tecnologias (CHONSAWAT, SOPADANG, 2020). Em outras palavras, espera-se um ambiente com uma cultura flexível, com mente aberta para entender e apoiar o novo conceito de indústria. Além disso, recursos adequados, funcionários qualificados e uma boa cultura organizacional são indispensáveis para a adequação de sistemas inteligentes. Caso os gestores não conheçam a cultura de seus colaboradores, devem enfrentar resistências para implementar novas tecnologias.

Com a necessidade de ser cada vez mais competitivas, industrializadas e eficientes, as empresas precisam se atentar ao fato de que a mudança de cultura é uma peça fundamental para a implantação da indústria 4.0 e o bom funcionamento entre os sistemas cyber físico (KIEL et al, 2019).

A transformação organizacional, para ocorrer de forma bem sucedida, necessita ser criteriosa e também levar em consideração os interesses tanto da empresa quanto dos principais stakeholders envolvidos. Para não haver uma resistência interna, é necessário que os colaboradores tenham apoio da liderança, sejam incentivados e orientados pelos seus líderes e que uma boa comunicação seja estabelecida, evidenciando de forma clara as estratégias e os ganhos obtidos com cada atividade.

A figura dos líderes e gestores são indispensáveis nas organizações, somente eles podem gerar a vontade de mudança nos colaboradores e iniciar uma verdadeira transformação cultural. Segundo estudo da Acatech (SCHUH et al, 2017), existem 8 capacidades que servem como base para iniciar uma cultura organizacional ágil e flexível, capaz de se adequar às tecnologias 4.0. São elas: reconhecer o valor dos erros, ser aberto à inovação, aprendizagem e tomada de decisão baseada em dados, desenvolvimento profissional contínuo, estilo de liderança democrática, capacidade

de mudança, comunicação aberta e confiança nos processos e sistemas de informação. A seguir, será discutido cada uma dessas capacidades.

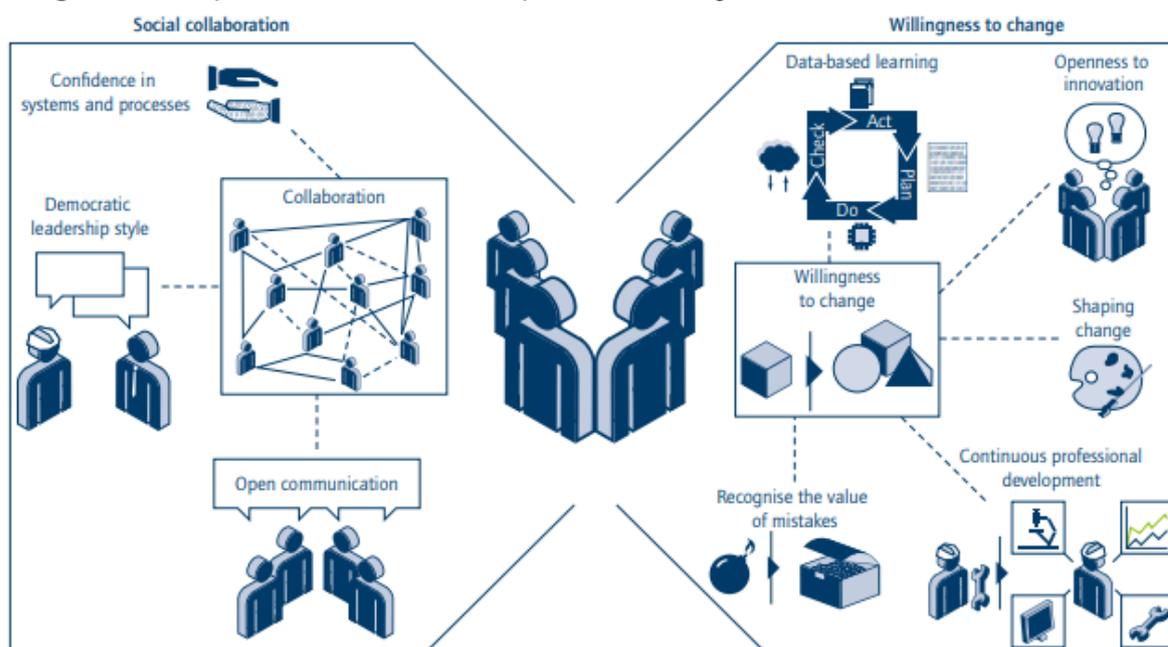
- **Reconhecer o valor dos erros:** o modo como cada empresa lida com os erros, demonstra muito sobre como funciona a sua cultura corporativa. Indústrias mais tecnológicas e com uma cultura avançada, entendem que o erro é a maneira mais ágil de aprender e gerar as mudanças necessárias. Quando se aborda o erro de forma negativa e isso tem consequências para os colaboradores, cria-se uma cultura de ocultação dos erros cometidos, o que pode gerar uma resolução rápida, não eficaz e ainda tornar a comunicação entre os colaboradores menor. Já quando se analisa o erro com o viés de uma oportunidade de melhoria, todo erro é levado para uma discussão aberta e democrática, documentado de forma sistemática e uma busca por soluções conjuntas que possam sanar os problemas e evitá-los futuramente.
- **Ser aberto à inovação:** ter o entendimento de que novas tecnologias e soluções são necessárias para que a empresa e os colaboradores evoluam nem sempre é algo fácil de se incorporar em uma companhia. Em muitas situações as pessoas não conseguem visualizar a importância das inovações e por isso é comum apresentarem resistências, sendo assim é sempre importante trabalhar a cultura geral da companhia para que todos os colaboradores entendam a importância de mudar e tenham consigo um espírito inovador.
- **Aprendizagem e tomada de decisão baseada em dados:** com a alta volatilidade de mercado que as empresas enfrentam atualmente, inovar e responder às mudanças do mercado de maneira rápida e assertiva são habilidades importantes para se manter competitivas. A melhor maneira de garantir essa assertividade é tomar decisões e desenvolver ciclos de aprendizagem baseado em dados. Como visto anteriormente no presente estudo, as tecnologias 4.0 permitem uma coleta significativa de informações que podem servir como base para tomada de decisões corretas, sendo assim é de extrema importância que todos os colaboradores sejam acostumados a basear suas decisões de acordo com o fornecimento e entendimento dos dados gerados.

- **Desenvolvimento profissional contínuo:** para que os colaboradores entendam as mudanças e se sintam confortáveis com a digitalização e com seu futuro na empresa é de extrema importância que os líderes e gestores os encorajem a se desenvolver e estar sempre atualizado com as tecnologias inovadoras que a empresa possa implementar. Pois além de gerar uma segurança para os funcionários, os profissionais do futuro necessitarão apresentar uma multi versatilidade, diferentemente do que ocorria no passado, em que profissionais mais especializados em um único tema eram o foco das companhias.
- **Capacidade de mudança:** com eventos externos a companhia acontecendo a todo momento e trazendo uma incerteza grande de mercado, a empresa que conseguir identificar as mudanças e se adequar a ela de maneira rápida pode ter uma vantagem competitiva muito grande em relação a concorrência, por isso é importante uma cultura organizacional que seja baseada em decisões descentralizadas, ou seja, os funcionários sejam capaz de tomar decisões de forma autônoma quando perceberem alguma perturbação externa que vá impactar a empresa.
- **Comunicação aberta:** Para que as mudanças e ações necessárias ocorram de maneira rápida e coordenada é necessário que os funcionários tenham todas as informações necessárias, tanto de eventos relacionados à própria área quanto de eventos de áreas diferentes. As tecnologias 4.0 já são capazes de fornecer a maioria das informações necessárias para as tomadas de decisões, porém a comunicação clara e aberta entre os diferentes níveis na empresa se faz necessária. Pois quando a cultura da empresa é de compartilhamento de conhecimento, o processo de aprendizagem é acelerado e por consequência as mudanças também.
- **Confiança nos processos e sistemas de informação:** Para garantir a mudança cultural, bem como a implementação das tecnologias 4.0 os colaboradores precisam confiar no processo. Em outras palavras, precisa estar exposto de forma clara como os profissionais estão envolvidos na transformação da empresa e como eles irão se beneficiar com tais mudanças. Dessa forma os colaboradores criam uma maior confiança na digitalização e aprendem, desde o início, que são parte importante para o funcionamento da companhia.

Vale ressaltar que, segundo a Acatech (SCHUH et al, 2017), para que haja uma verdadeira transformação organizacional na companhia, às 8 capacidades devem ser trabalhadas de maneira conjunta, caso contrário a cultura organizacional pode ficar com lacunas de aprendizado.

A Figura 13 a seguir mostra como todas essas capacidades se conectam na cultura organizacional de uma empresa.

Figura 13: Capacidades necessárias para cultura organizacional em uma Indústria 4.0



Fonte: Schuh et al (2017)

5. ESTUDO DE CASO

Como forma de exemplificar os problemas enfrentados pela indústria química no cenário nacional e os ganhos possíveis de obter com uma empresa enxuta e automatizada, será apresentado um estudo de caso (BANDEIRA, 2021), da aplicação dos conceitos *Lean Manufacturing* em uma linha de produção para uma indústria.

5.1. Apresentação da empresa

A empresa em questão é uma multinacional americana e a linha de produção que foi analisada é a de uma de suas unidades fabris, situada em Manaus - BR. A indústria em questão é responsável pela formulação e embalagem de produtos

químicos que são comercializados. A unidade de Manaus é responsável pela produção dos seguintes produtos:

- **Home Cleaning:** produtos sanitários, como pastilhas, pedra e desinfetante.
- **Pest Control:** produtos que servem como repelentes, sendo eles em spray, líquidos ou em pastilha.
- **Air Care:** produtos desodorizadores de ambientes
- **Cera Automotiva**

O processo produtivo é composto por diversas etapas, como a de *packaging* (encartuchamento, rosqueamento, blistagem, etc.), enchimento e processos de formulações químicas. Com o aumento significativo da demanda por produtos “*Home Cleaning*”, a alta liderança entendeu que a linha de Blistagem era essencial para atingir os objetivos de melhoria de processo e ergonomia, focado na redução de custos do produto e bem estar dos colaboradores.

5.2. Processo de Fabricação

O produto a ser estudado é o Pato Gel adesivo. Para ser considerado um produto acabado precisa passar por 3 etapas no processo de fabricação, sendo elas: Formulação Química, Linha de Enchimento e Linha de Blistagem.

1. Formulação Química

- a. Inicialmente é preparado um produto base, de acordo com as especificações de fabricação, chamado de Semi-Granulado (SG)
- b. Posteriormente, o conteúdo químico, em forma líquida, é despejado em tubulações de maquinários responsáveis pelo envase do produto
- c. Por fim, é feita a limpeza da tubulação com intuito de evitar a contaminação cruzada no processo, tal tarefa é realizada por colaboradores

2. Linha de Enchimento

Tal processo ocorre de forma automatizada, necessitando de intervenção humana apenas na operação e programação de máquinas e no abastecimento da tubulação.

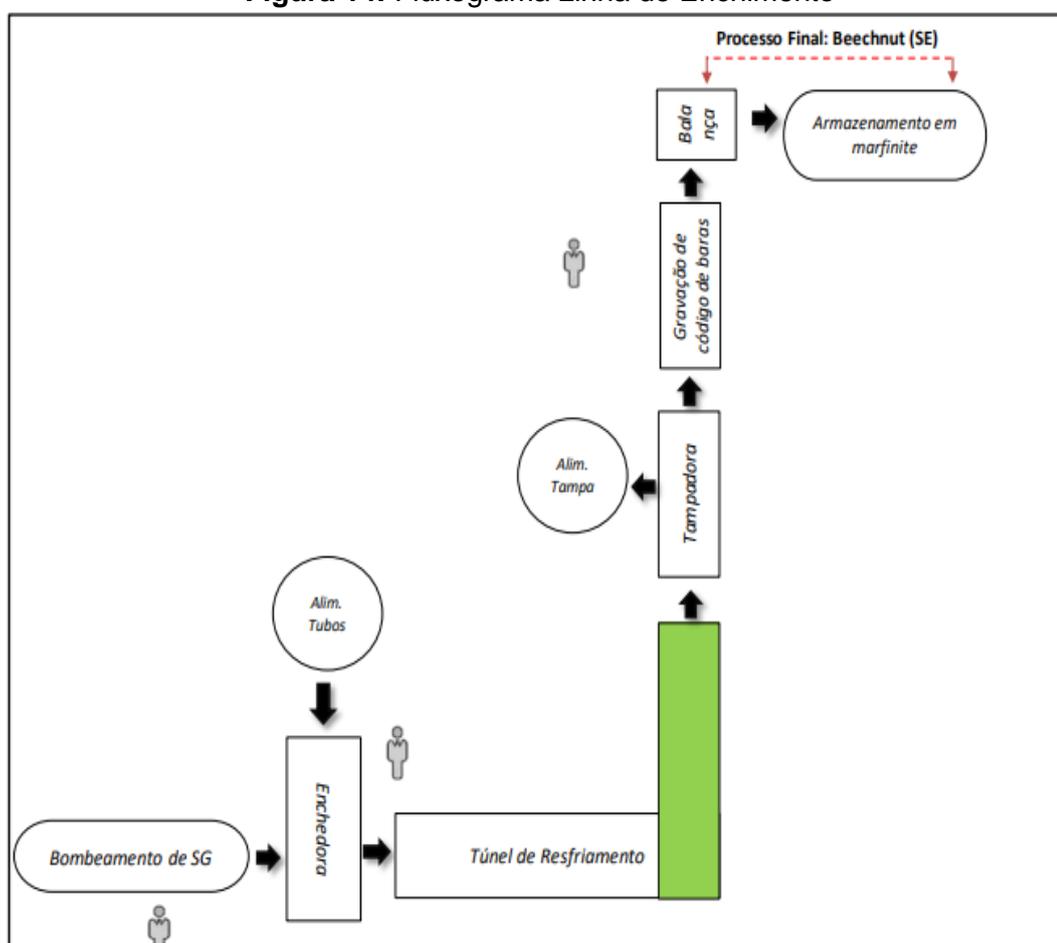
As etapas desse processo são:

- a. Alimentação de tubos: Os tubos são alimentados de forma manual em um magazine, que faz a colocação automática deles sendo transportados por esteira

- b. Enchimento: Através de um parafuso sem fim, são posicionados 8 potes simultaneamente que são enchidos através de bicos de enchimento
- c. Túnel de resfriamento: Após o enchimento de cada pote, o produto passa por um processo de resfriamento para ficar com consistência de gel.
- d. Tampadora: A tampa é colocada de forma automatizada por um carrossel de tampas.
- e. Gravação: Através de datadores a jato de tinta, são colocadas algumas especificações em cada tubo, como validade, lote, etc.
- f. Pesagem: O produto é pesado para garantir a quantidade ideal de produto em cada pote, caso haja menos produto que o recomendado o pote é descartado.
- g. Armazenamento: Produto é armazenado em marfinites e encaminhado para a linha de Blistagem.

A Figura 14 a seguir ilustra o fluxograma da linha de enchimento.

Figura 14: Fluxograma Linha de Enchimento



Fonte: Bandeira (2021)

3. Linha de Blistagem

O processo de embalagem do produto gel adesivo é denominado como Blistagem. Tal processo ocorre da seguinte maneira.

- a. Alimentação de Blisters: A alimentação dos Blisters PET é feita de forma manual e consiste no ato de pegar os Blisters e colocá-los em moldes de MDF, contendo feltros para auxiliar na selagem do Blister com a cartela, molas e pinos de metal para guiar o Blister e a cartela. O processo necessita de 3 colaboradores (2 auxiliares de produção e 1 operador) tendo um tempo médio de realização de 2,25 segundos por Blister
- b. Colocação do Insert Paper: O insert paper é utilizado como marketing e contém informações do produto a ser comercializado (fragrância, peso, quantidade de produto). O processo de colocação requer precisão para garantir o perfeito estado do papel de embalagem, essa ação é feita de forma manual e necessita de 3 colaboradores (2 auxiliares de produção e 1 operador) tendo um tempo médio de realização de 2,25 segundos por Blister
- c. Colocação do Aparelho aplicador: A colocação do aparelho aplicador também ocorre de forma manual, os colaboradores precisam acessar a baia e inserir os aparelhos no Blister. Para essa etapa são necessários 2 colaboradores (auxiliares de produção) e leva um tempo médio de 2,25 segundos por unidade.
- d. Silo de alimentação das baias: Os silos são abastecidos pelos operadores através de um sistema de elevador, tanto com aparelhos aplicadores quanto com frascos Semi-Elaborado (SE), após a elevação, cada um cai em uma baia determinada. O processo é controlado pela programação do motor de tração do elevador e do seletor de boca do silo. O processo necessita de apenas 1 colaborador.
- e. Colocação do SE: O processo de inserção do Semi-Elaborado no Biester ocorre de forma manual e necessita de 2 colaboradores (auxiliares de produção). O operador entra na baia e aplica o SE no Blister, com um tempo médio de 2,5 segundos por aplicação. A figura 15 a seguir mostra o posto de colocação SE.

Figura 15: Posto de Colocação Manual de SE



Fonte: Bandeira (2021)

- f. Colocação de Cartelas: Esse processo consiste na colocação de cartelas acima do Blister, um magazine com ventosas realiza a sucção de 4 cartelas simultaneamente e posiciona sob os Blisters, de forma automática. A alimentação de cartelas no magazine é feita de forma manual por um operador. Entre o processo de colocação de cartelas no Blister e o próximo processo não há possibilidade de intervenção para ajustes de alguma inconsistência do processo. Nessa etapa é necessário a presença de um colaborador que monitora e abastece o magazine.
- g. Placa de Selagem: O processo de selagem consiste na fusão do Blister PET a um papel resinado (cartela) que ocorre em uma placa de selagem, mostrada na Figura 16, essa etapa dura 3,5 segundos e é mantida a uma temperatura de 250 °C. Este processo é o mais crítico da linha, pois se houver algum elemento mal posicionado ocorre a parada da linha de produção e a geração de refugos. Para o caso de má selagem, pode ocorrer danos na máquina. Nessa etapa há a necessidade de um colaborador para monitorar o processo.

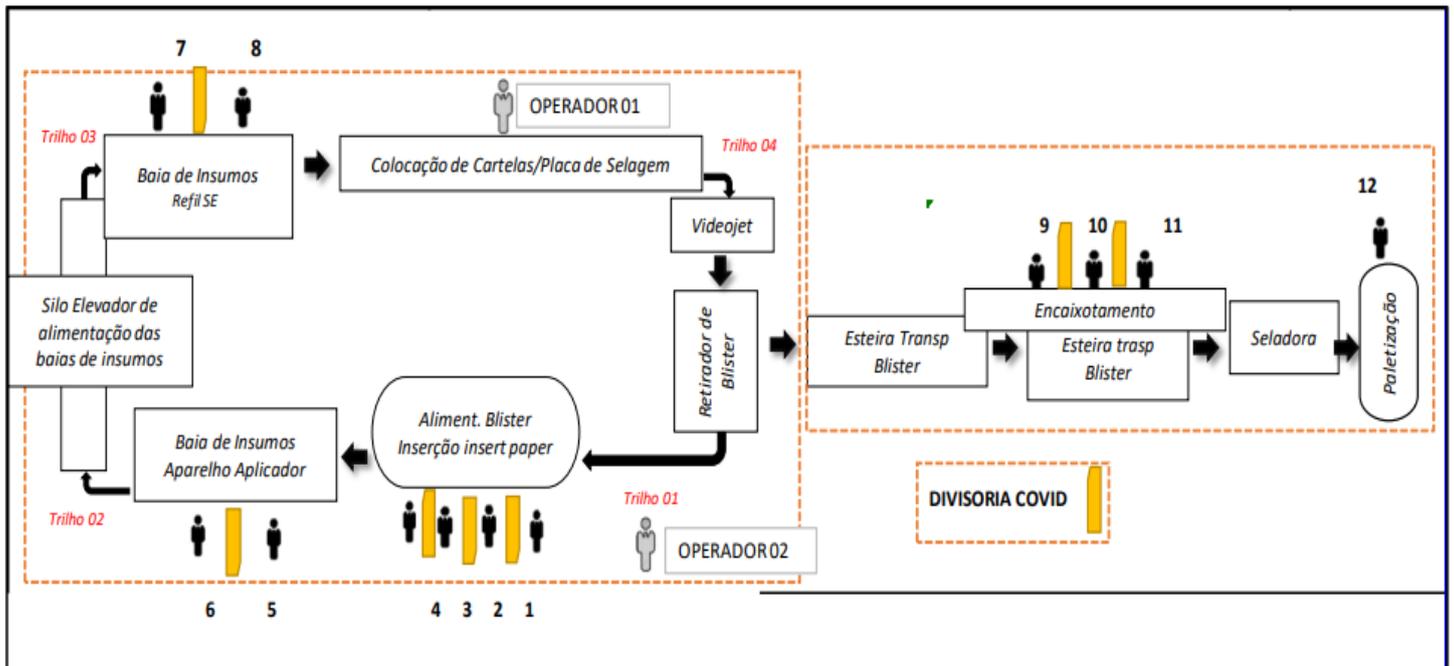
Figura 16: Placa de Selagem



Fonte: Bandeira (2021)

- h. Datadora Videojet: Com um canhão de gravação automático é inserido o código de barras nas embalagens. Essa etapa necessita de apenas um colaborador para monitoramento.
 - i. Retirada do Blisters formados e esteira de transporte: A retirada dos Blisters é feita de forma automática por um robô, que faz coleta e a colocação em uma esteira transportadora.
 - j. Encaixotamento: O processo de encaixotamento é feito de forma manual e conta com o trabalho de 3 colaboradores. A atividade consiste em pegar o produto da esteira e colocar na caixa, que cabem 12 unidades, essa tarefa de pick and place tem um tempo determinado de 4 segundos por produto
 - k. Seladora de Caixa: Posteriormente a montagem das caixas há o processo de selagem que é feito por uma máquina de selagem para garantir o total fechamento das caixas. Nesse processo também é feito o trabalho de etiquetagem, realizado por um colaborador num tempo de 4 segundos por caixa.
 - l. Paletização de Caixas: Esse processo ocorre de forma manual, posicionando 7 camadas de caixa com 18 caixas por camada. O processo conta com o trabalho de um colaborador e o tempo de paletização é de 4 minutos.
- A Figura 17 a seguir demonstra o fluxograma da Linha de Blistagem.

Figura 17: Fluxograma da Linha de Blistagem

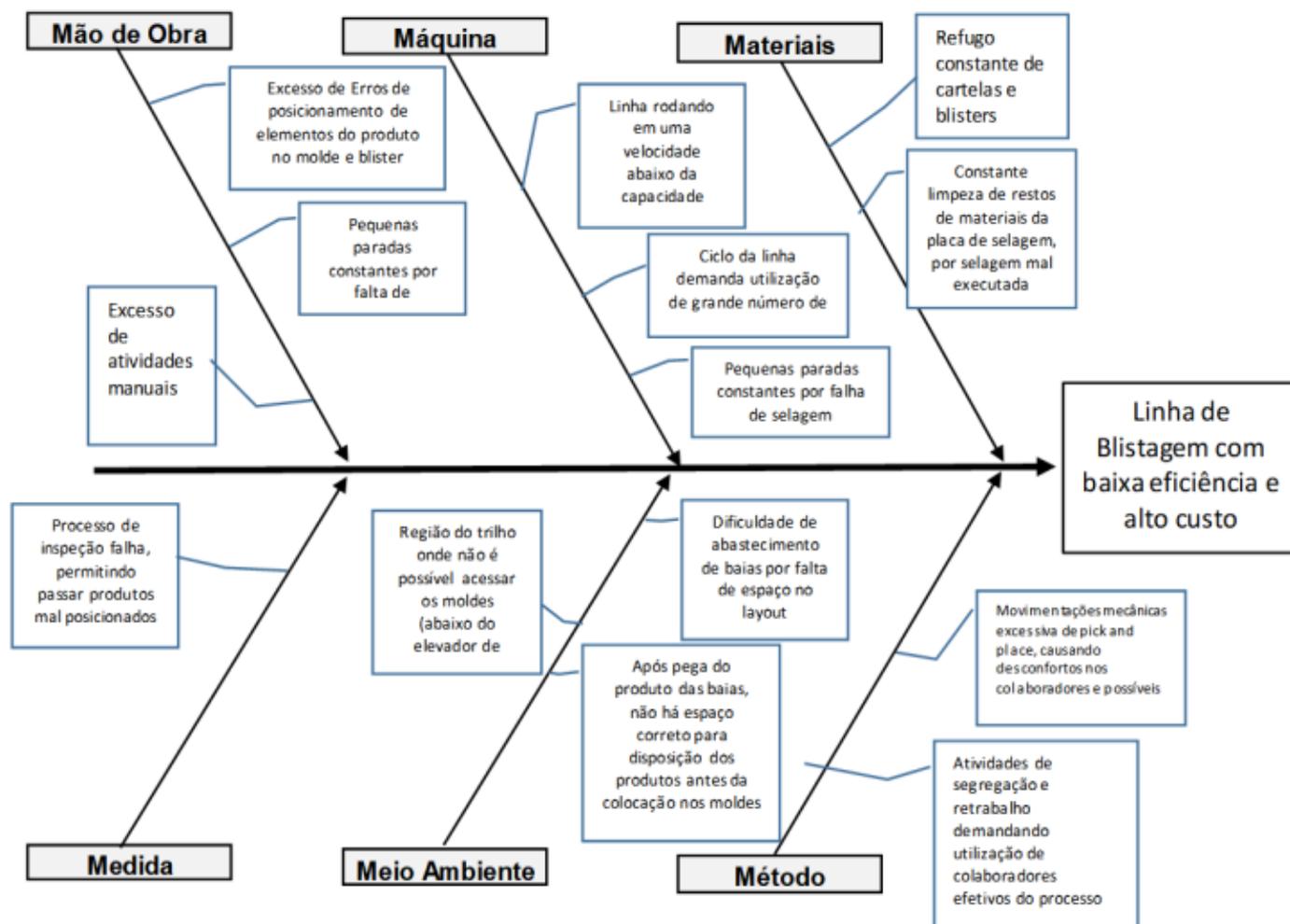


Fonte: Bandeira (2021)

5.3. Identificação das causas raízes

Para identificar problemas que estivessem impactando a eficiência e os custos da linha produtiva foi feito um diagrama de Ishikawa (Figura 18) com apoio da equipe de produção e de gestão.

Figura 18: Análise de Causa-Raiz do problema



Fonte: Bandeira (2021)

Após análises do diagrama os problemas identificados na linha de produção foram, principalmente:

- Grande quantidade de paradas não esperadas ao longo do processo produtivo;
- Operação majoritariamente manual, com a necessidade de 12 pessoas para a produção de apenas 2 produtos;
- Colocação de produtos em embalagens ou moldes de selagem com alta incidência de erros;
- Colocação feita de forma manual e não-padronizada, podendo ocasionar paradas;
- Alta carga de retrabalho;
- Ineficiência de inspeção visual;
- Movimentação excessiva na linha de produção.

Com o intuito de eliminar os desperdícios, automatizar as atividades manuais repetitivas e que possam trazer riscos aos colaboradores, bem como manter um fluxo contínuo de produção e aumentar a produtividade, optou - se por transformar a linha de produção seguindo os conceitos de *Lean Manufacturing*. Sendo assim, a alta liderança resolveu investir em um sistema robótico de pick and place e um sistema de inspeção automática, automatizando os seguintes processos:

1. Inserção de aparelho aplicador no Blister
2. Inserção de refil SE (Semi-Elaborado) no Blister
3. Inspeção visual pré processo de colocação de cartela e selagem

Com esses processos sendo automatizados espera - se ganhos significativos, como, menor erros de inserção e posicionamento dos produtos, uma diminuição de 2 pessoas no processo melhorando a ergonomia, além de possibilitar uma maior eficiência no processo pick and place e reduzir os custos de produção.

Outra mudança foi o desenvolvimento de um novo molde de MDF com uma capacidade maior de inserção de Blisters, passando de 4 para 6 unidades.

Por fim, houve um entendimento de que era necessário a capacitação dos colaboradores em tecnologias de instalação e manutenção dos robôs e câmeras de inspeção, obtendo um know-how técnico em tecnologias avançadas. Isso gera um desenvolvimento pessoal para os colaboradores e por consequência para a empresa, como prevê a metodologia *Lean Manufacturing*.

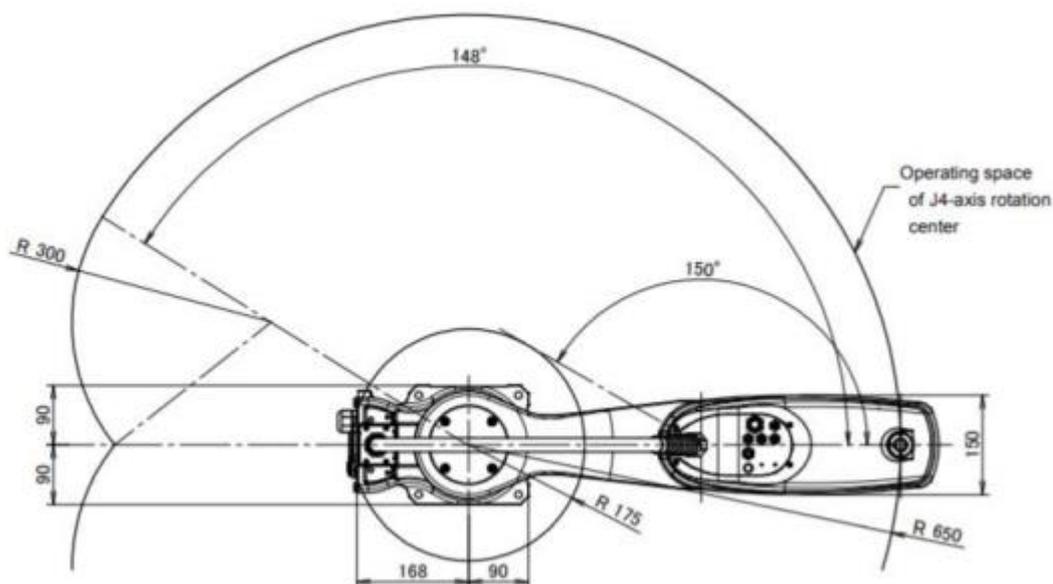
5.4. Execução técnica do projeto

5.4.1. Pick And Place automatizado

Primeiramente foi utilizado a instalação do sistema Pick And Place automatizado com a utilização de 2 robôs.

- Robô SCARA – “Pick And Place de Refil SE: possuem controle em 4 eixos (3 de rotação e 1 linear), cada um sendo controlado por um servo-motor com lógica estruturada via Controlador Lógico Programável (CLP)” (BANDEIRA, 2021). O robô utilizado no projeto é da marca FANUC Modelo SR-6iA SCARA Robot, e pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19: Desenho técnico do robô SCARA



Fonte: Bandeira (2021)

- Robô-Cartesiano – Pick And Place do Aparelho Aplicador: possui um 1 eixo tipo haste, controlado por um motor-passo que possui grande precisão de deslocamento nos eixos x e y através de patins e trilhos mecânicos. Seu sistema também é controlado via CLP

5.4.2. Sistema de Visão

A aplicação de um sistema de visão na linha produtiva tem como objetivo impedir a falta de produtos ou a colocação errada nos Blisters, isso resultará em um menor número de retrabalhos e paradas na linha de produção, bem como evitará perdas. A câmera do Sistema de Visão da marca Keyence, permite a visualização em tempo real da existência de Aparelhos Aplicadores, Refil SE e os Insert Papers nos Blisters. Quando o processo estiver OK, há a liberação para a próxima etapa, já em casos de não conformidade a linha é parada momentaneamente para fazer os ajustes necessários.

5.4.3. Princípio de Funcionamento do sistema Pick and Place e de Inspeção Visual Automática integrados.

5.4.3.1. Abastecimento de aparelhos aplicadores

Os elevadores silos, mostrados na Figura 20, transportam os aparelhos e refis SE e a despejam, através de funis, em panelas vibratórias. Essas panelas possuem sensores de níveis que se comunicam com os elevadores indicando se há a necessidade de uma quantidade maior ou menor de descarga.

Figura 20: Elevador-Silo



Fonte: Bandeira (2021)

5.4.3.2. Painelas Vibratórias

As panelas vibratórias, como mostrado na Figura 21, são acionadas de forma magnética e com o movimento vibratório transportam unitariamente os aparelhos e SEs, dispondo-os com o objetivo de posicionar as peças em fila nas calhas.

Figura 21: Painelas Vibratórias



Fonte: Bandeira (2021)

5.4.3.3. Sistema de calhas e Esteiras taliscadas

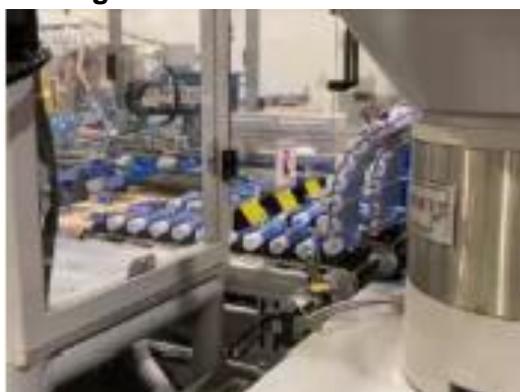
O sistema de calhas, demonstrado na Figura 22, possui um sistema vibratório que leva os produtos até as esteiras, que são acionadas de maneira a posicionar 6 aparelhos e 6 refis, como mostrado na figura 23.

Figura 22: Sistema de calhas



Fonte: Bandeira (2021)

Figura 23: Esteiras Taliscadas



Fonte: Bandeira (2021)

5.4.3.4. Robô eixo

Nessa etapa, o robô, através de ventosas com pressões negativas, realiza a sucção de 6 unidades de aparelhos aplicadores e faz o transporte até acima do molde já com os blisters e Insert Papers e os posiciona de maneira correta no molde.

5.4.3.5. Robô SCARA FANUC

Nessa etapa, o robô (Figura 24), através de ventosas com pressões negativas, realiza a sucção de 6 unidades de refil SE e faz o transporte até acima do molde já com os Blisters, Insert Papers e Blisters e os posiciona de maneira correta no Blister.

Figura 24: Robô SCARA Fanuc



Fonte: Bandeira (2021)

Na Figura 25 a seguir, pode - se observar o fluxograma resumido do sistema integrado de Pick and Place e Inspeção.

Figura 25: Fluxograma resumido do sistema Pick and Place e de Inspeção



Fonte: Bandeira (2021)

5.5. Resultados Obtidos

Com o intuito de transformar a produção em uma atividade mais enxuta e com a eliminação de desperdícios, foram realizadas as seguintes atividades, baseada na metodologia *Lean Manufacturing*:

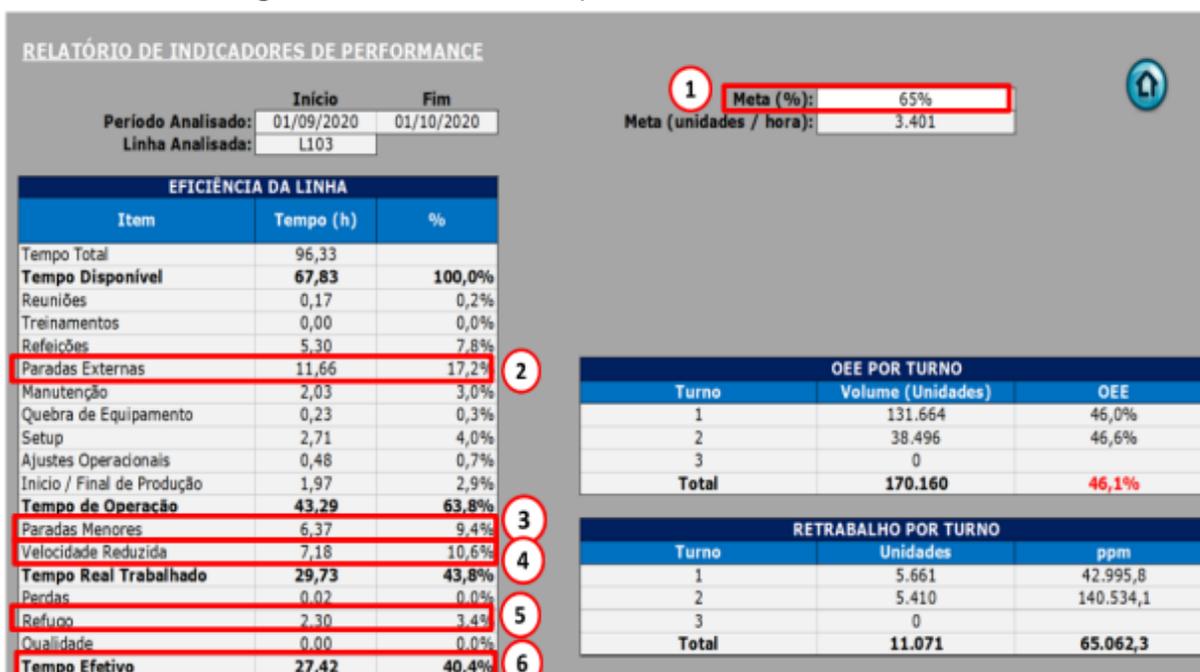
- **Estabelecimento de um fluxo de produção contínuo:** Com a aplicação do projeto e das metodologias, bem como da automatização de algumas etapas do processo, foi possível reduzir o número de paradas inesperadas na linha de

produção. Além disso, foi possível aumentar a efetividade operacional do processo de *pick and place*.

- **Padronização de atividades de *pick and place*:** Para garantir um menor desvio de erros e falhas possíveis, o processo de *pick and place* foi padronizado e automatizado, gerando menor número de paradas e a diminuição do retrabalho.
- **Garantia da qualidade dentro do processo:** Aplicando o conceito de análise em tempo real, tanto para o processo, quanto para a condição do produto, foi possível garantir a solução dos problemas de maneira rápida e eficaz, evitando que os problemas chegassem à fase crítica da produção.
- **Conceitos do TPM:** A fim de garantir o melhor desempenho do maquinário, bem como sua longevidade, o operador e o time técnico dispõem de ferramentas e dados para analisar e prevenir falhas nos equipamentos, bem como aplicar e padronizar métodos de manutenção autônoma.
- **Melhoria contínua nos processos:** Com a maior autonomia dos operadores do processo, eles podem identificar ações corretivas e de melhorias e aplicar no processo, visando sempre trazer resultados positivos e melhores na linha de produção.

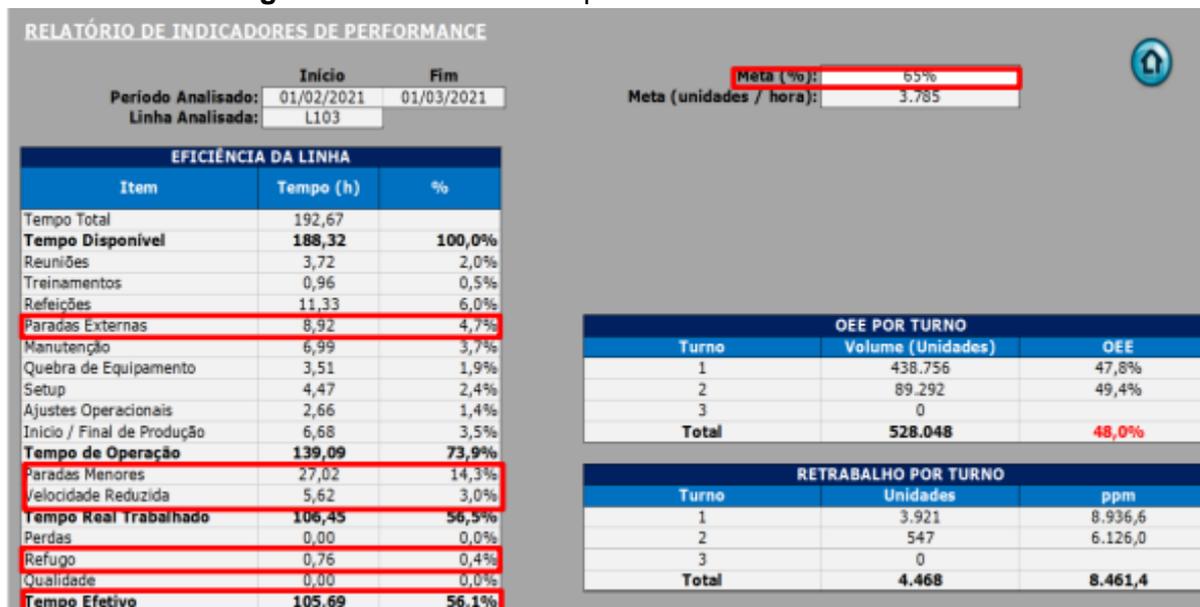
Para avaliação dos resultados alcançados, foi feita uma comparação dos indicadores de performance, entre o mês de setembro de 2020 com o mês de fevereiro de 2021. Os indicadores podem ser visualizados nas Figuras 26 e 27 a seguir.

Figura 26: Indicadores de performance setembro de 2020



Fonte: Bandeira (2021)

Figura 27: Indicadores de performance fevereiro de 2021



Fonte: Bandeira (2021)

Os principais indicadores a serem analisados foram:

1. **Meta:** Meta definida pela alta liderança.
2. **Paradas externas:** Atividade considerando principalmente o tempo de retrabalho

3. **Paradas Menores:** Paradas de linha abaixo de 5 minutos para a realização de ajustes necessários
4. **Velocidade Reduzida:** Aumento do ciclo de produção, geralmente associado a falta de colaboradores ou ineficiência operacional.
5. **Refugo:** Perdas sem a possibilidade de retrabalhos.
6. **Tempo Efetivo:** Representa o tempo efetivo da linha, ou seja, a eficiência do processo produtivo.

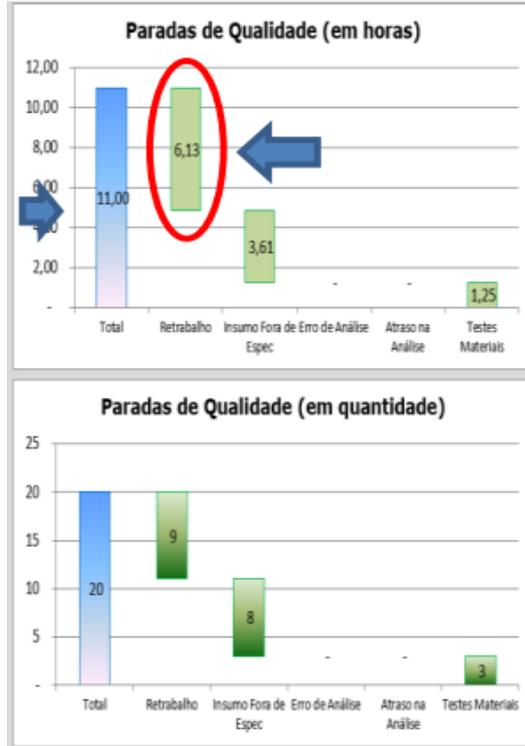
Com a comparação dos dois períodos, nota-se uma evolução muito grande de indicadores chaves. Com algumas etapas críticas sendo automatizadas, foi alcançado um aumento produtivo de 36 (unid/min) para 54 (unid/min). Além disso, as paradas externas decresceram de 17,2% para 4,7%, assim como houve a redução no índice de refugo, caindo de 3,4% para 0,4%. A velocidade reduzida também foi otimizada, saindo de 10,6% para 3%.

O aumento observado em paradas menores, de 9,4% para 14,3%, se deve ao fato que o novo layout e o novo sistema de inspeção visual foram otimizados. Sendo assim, pequenos problemas identificados são corrigidos de maneira instantânea evitando paradas longas no futuro.

Por fim, pode - se observar um aumento do tempo efetivo de aproximadamente 16%, saindo de 40,4% para 56,1%, ficando bem mais próximo da meta estipulada pela alta gerência, 65%.

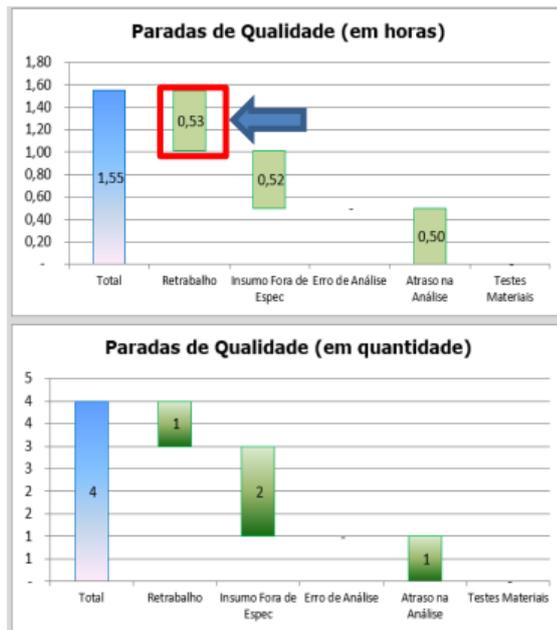
Outro fator analisado foi o índice de paradas de qualidade antes e após a implementação do projeto, as Figuras 28 e 29 mostram esses índices para o período de setembro de 2020 e fevereiro de 2021, respectivamente.

Figura 28: Número de parada de qualidade em setembro de 2020



Fonte: Bandeira (2021)

Figura 29: Número de parada de qualidade em fevereiro de 2021

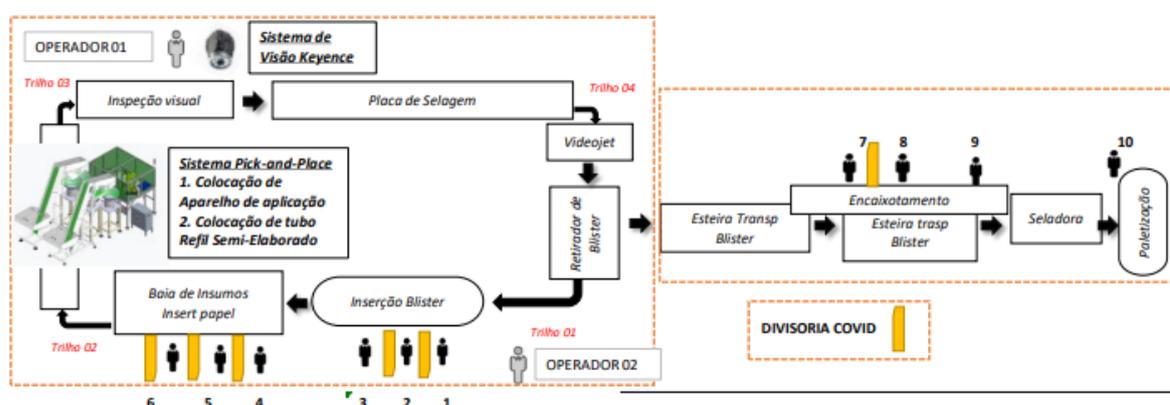


Fonte: Bandeira (2021)

Observa - se, no comparativo acima, um ganho expressivo em relação ao tempo de parada de qualidade, sendo o tempo gasto, em setembro de 2020, de 6,13 horas e em fevereiro de 2020 de 0,53 horas.

Também foi realizada a análise de ergonomia na linha de Blistagem. Após a automação de alguns processos e um estudo de melhorias possíveis, reorganizou - se o trabalho na linha produtiva e reduziu a mão de obra de 12 para 10 pessoas, como mostra a Figura 30.

Figura 30: Layout linha produtiva fevereiro de 2021



Fonte: Bandeira (2021)

Por fim, foi feita uma análise de custo, em que foi levado em consideração o aumento do gasto relativo a novas máquinas no processo produtivo, a diminuição da mão de obra necessária e o aumento produtivo da linha. A tabela 2 abaixo mostra os ganhos obtidos com as modificações.

Quadro 2: Quadro de comparação entre custos (Set/20 - Fev/21)

CUSTOS	CUSTOS A CADA 1000 CAIXAS	CUSTO ESTIMADO PARA O MÊS DE FEVEREIRO DE 2020 (19.000 CAIXAS)
Custos Horas-máquina	-R\$ 519,13	-R\$ 9.863,38
Custos Horas-Homem	-R\$ 3.865,34	-R\$ 73.441,53

Fonte: Elaboração própria.

6. DISCUSSÃO

Com base nos conceitos apresentados ao longo do estudo, bem como o exemplo de estudo de caso, temos que os desafios das indústrias químicas, para atingir a maturidade mínima necessária para implantação das tecnologias 4.0, são inúmeros.

No âmbito de processos produtivos, em que a aplicação dos conceitos do LM é indispensável para se evoluir para uma produção 4.0, as principais dificuldades estão na visualização inicial de ganhos. Isso se deve ao fato de que, geralmente, há a necessidade de se aplicar a automação de alguns processos, o que implica em investimentos iniciais que a empresa nem sempre está disposta a fazer. Além disso, outro obstáculo é o tempo necessário para promover a transformação na sua linha de produção, grandes indústrias químicas apresentam uma linha de produção extensa e com várias etapas o que traz uma certa demora para a implantação total dos conceitos do LM. A fim de driblar ou amenizar tais dificuldades é interessante escolher, inicialmente, etapas chaves do processo produtivo e aplicar o LM apenas nessa etapa, com isso os gastos e o tempo necessário para a implementação são menores e os resultados positivos podem ocorrer de maneira mais rápida, isso faz com que os líderes superem a desconfiança e confiem no processo.

A falta de visualização de retornos com investimentos no processo de digitalização também é um desafio presente nas indústrias químicas. Além disso, a conectividade em algumas plantas industriais são um desafio no território nacional, isso se deve ao fato de que muitas plantas industriais se encontram afastadas de grandes centros o que implica diretamente na dificuldade de conectar diferentes sistemas e interligar processos produtivos. Outro desafio comumente encontrado é a falta de profissionais capacitados para operar tecnologias relacionadas a TI. Como opção de superar esses desafios é necessário promover, junto aos governos, estímulos para a disseminação de investimentos em banda larga e rede móvel, ademais as empresas podem estimular e bonificar funcionários que se disponham a desenvolver novas habilidades relacionadas à tecnologia da informação.

Por fim, analisando os desafios relacionados à cultura organizacional, os desafios da indústria são múltiplos, tais como, promover um ambiente diversificado, conceder maior autonomia de tomada de decisão aos colaboradores, promover a

cultura do erro como fonte de aprendizagem rápida, trazer um ambiente inovador, transformar a comunicação vertical em uma comunicação aberta, descentralizar o poder, etc. Como forma de avançar na cultura organizacional da empresa e se tornar uma empresa culturalmente apta à adesão de novas tecnologias, é necessário que o processo de reorganização aconteça de forma calma e estruturada. É importante que toda e qualquer mudança seja comunicada de forma clara aos colaboradores, evidenciando os ganhos e os benefícios que se almeja obter com as mudanças. Outro ponto importante é deixar com que os funcionários tenham voz nas mudanças propostas, podendo dar sugestões de melhorias e mostrar dificuldades enfrentadas no dia a dia. Além disso, deve haver o comprometimento total da alta direção com as mudanças propostas como forma de engajar e inspirar seus colaboradores.

Vale ressaltar que as empresas nacionais, de um modo geral, apresentam uma baixa maturidade principalmente pelo fato de o Brasil ter apresentado uma industrialização tardia, todavia a globalização, problemas ambientais e a alta competitividade do mercado pressionam o setor industrial a mudar, sendo mais eficiente e com uma utilização de recurso cada vez mais consciente. As ferramentas de quarta geração podem ser grandes aliadas nesse processo de modificação, porém atropelar o processo e digitalizar os problemas não é uma alternativa recomendada, sendo assim é importante que as empresas compreendam seu grau de maturidade e a evolução necessária para conseguir avançar para a Indústria 4.0.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com intuito de entender os principais desafios e os principais ganhos que se pode obter em uma indústria de processo, foi apresentado um exemplo de estudo de caso em que foi evidenciado os principais passos e ações, bem como os ganhos obtidos com a implementação dos conceitos *LM* em uma etapa do processo produtivo. Assim pôde ficar claro que os resultados não são apenas financeiros, trazendo um ambiente mais colaborativo, limpo, seguro e espaçoso.

Este trabalho apresentou uma síntese das necessidades mínimas requeridas para uma indústria avançar para a quarta revolução industrial. Dentre estas, destaca-se a necessidade de um ambiente digitalizado, permitindo com que haja troca de informações entre os sistemas físicos e humano, uma linha de produção enxuta maximizando a produtividade e reduzindo ao máximo os desperdícios e retrabalhos e por fim um ambiente preparado para receber novas tecnologias, com profissionais capacitados inserido em um campo de trabalho colaborativo e inovador.

Após entendimento das necessidades mínimas requeridas e de toda a evolução industrial ocorrida, torna – se mais claro que cada etapa da industrialização serve como base necessária para seguir para o próximo estágio, ou seja, sair de tecnologias 2.0 diretamente para tecnologias 4.0 pode trazer uma falsa sensação de ganhos para a empresa, visto que muitos problemas serão apenas digitalizados e não corrigidos efetivamente.

A globalização trouxe grandes mudanças no mundo, promovendo uma sociedade mais conectada, com novas demandas e a necessidade de produtos cada vez mais personalizados. Junto da globalização houve os avanços industriais para suprir a nova demanda, todavia a industrialização traz problemas ambientais e uma alta demanda energética. Sendo assim, o setor industrial se encontra pressionado para conseguir atender as novas demandas de uma maneira sustentável em todos os âmbitos. A solução mais próxima está justamente nas tecnologias 4.0 que podem promover uma produção mais enxuta, sustentável e eficiente. Contudo o Brasil se encontra em um estado tardio de industrialização, o que se faz extremamente necessário a difusão dos conceitos e ganhos da Indústria 4.0, com o intuito de estimular a sua implementação em um número cada vez maior de indústrias, visto que essa transformação requer tempo e obstáculos a serem superados. Visando esses desafios o presente estudo pode contribuir apresentando os principais conceitos sobre

a quarta revolução industrial, bem como os requisitos mínimos necessários para a implementação e as dificuldades envolvidas.

Há uma gama de oportunidades de estudos que podem ser feitos futuramente, sendo assim, dois estudos que podem complementar o trabalho presente são:

- Principais tecnologias 4.0 a serem utilizadas em indústrias químicas e quais ganhos essas podem trazer para a companhia.
- Como as empresas podem se preparar em relação à regulamentação e a segurança de informação com a implementação das tecnologias 4.0

8. REFERÊNCIAS

ALTUS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO. **Conheça os nove pilares da Indústria 4.0 e sua relevância para a atividade industrial.** Disponível em: <<https://www.altus.com.br/post/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ARKTIS. **Indústria 4.0, a Quarta Revolução Industrial.** 2016. Disponível em: <<http://arktis.com.br/a-quarta-revolucao-da-industria/>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

BANDEIRA, C. C. P. **Aplicação de conceitos do lean manufacturing em uma linha de produção de uma indústria química.** 2021. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Produção), Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, 2021.

BOETTCHER, M. **Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0.** LinkedIn. 26 nov. 2015. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>>. Acesso em: 10 ago. 2022

CAMERON, K. S.; QUINN, R. E. **Diagnosing and Changing Organizational Culture: Based on the Competing Values Framework.** Jossey Bass Incorporated, San Francisco, 2005.

CARDOSO, M. de O. **Indústria 4.0: a quarta revolução industrial.** 2016. 43 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

CARRARA, V. **Introdução a Robótica Industrial.** 2015. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/08.25.14.16/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A. **The Development of the Maturity Model to evaluate the Smart SMEs 4.0 Readiness**. IEOM: Bangkok, Thailand, p. 354-363, 2019.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Sondagem Especial 66 - Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2016.

CLUBE DE ARQUITETURA. **Taylorismo**. Disponível em: <<http://architectureclub.blogspot.com/2010/11/taylorismo.html>>. Acesso em: 22 ago. 2022.

CONHECIMENTO CIENTÍFICO. **Fordismo, o que foi? Origem, características e declínio**. Disponível em: <<https://conhecimentocientifico.com/fordismo-o-que-e-historia-caracteristicas/>>. Acesso em: 22 ago. 2022.

DAVIES, R.; COOLE, T.; SMITH, A. **Review of Socio-technical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0**. Procedia Manuf, 2017.

DOMBROWSKI, U.; RICHTER, T.; KRENKEL, P. **Interdependencies of Industrie 4.0 & lean production systems: A use cases analysis**. Procedia Manufacturing, 2017.

ESTÉVEZ, R. **Lós 9 pilares de la Indústria 4.0**. 2016. Disponível em: <<http://www.ecointeligencia.com/2016/06/9-pilares-industria-40-1/>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

FERNANDES, F. C. F., GOMES, E. C., GODINHO Filho, M. **Utilização conjunta das ferramentas PFA e VSM para a simplificação e melhoria do fluxo de materiais: proposta e análise de resultados em uma empresa fabricante de abrasivos**. XXVI ENEGEP – Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR450301_6936.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

FIGUEREDO, M. **Ford cria fábrica virtual na Europa**. 2012. Disponível em: <<http://motordream.bol.uol.com.br/noticias/ver/2012/08/03/ford-cria-fabrica->

virtual-na-europa>. Acesso em: 29 jul. 2022.

FIRJAN. **Indústria 4.0**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:

<<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4&inline=1>>. Acesso em: 28 jul. 2022.

FRANCISCO, W. de C. e. **A robotização na produção industrial**. UOL - Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/a-robotizacao-na-producao-industrial.htm>>. Acesso em 15 ago. 2022.

GARCIA, P. **Robôs Autônomos**. 2016. Disponível em: <<https://pedrogarcia12av1.wordpress.com/about/robos-autonomos/>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

GE. **Automação em alta performance Soluções para um mundo conectado**. 2016. Disponível em: <https://www.geindustrial.com.br/download/catalogs/GE_PLCS.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

GIORDANO, C. M.; ZANCUL, E. de S.; RODRIGUES, V. P. **Análise dos Custos da Produção Por Manufatura Aditiva em Comparação a Métodos Convencional**. 2016. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1963/1397>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

GOLEMAN, D. **Trabalhando com a inteligência emocional**. Rio de Janeiro: Objetiva, 1999.

HINO, S. **O Pensamento Toyota - Princípios de Gestão para um Crescimento Duradouro**. 1. ed., Porto Alegre: Bookman, 2009.

HUANG, C; KUSIAK, A. **Development of modular products. Components, Packaging, and Manufacturing Technology**. IEEE Transactions, 1996.

IGLÉSIAS, F. **A Revolução Industrial**. São Paulo: editora Brasiliense. 1984.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.** 2013.

KIEL, D.; MÜLLER, J.M.; ARNOLD, C.; VOIGHT, K.I. **Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of Industry 4.0.** Int. J. Innov. Manag, 2017.

KOORNHOF, C. **Accounting information on flexibility.** 2003. 301 f. Dissertação, University of Pretoria. África do Sul, 2003.

LEAN WAY CONSULTING. **Entenda o Lean System.** Disponível em: <<http://leanway.com.br/lean%20manufacturing>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

LISBOA, A. **Ponte futurista impressa em 3D é sustentável e dispensa aço e cimento.** Canaltech, 2021. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/inovacao/ponte-futurista-impressa-em-3d-e-sustentavel-e-dispensa-aco-e-cimento-192929/>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

MAHMOOD, M. A.; SOON, A. **A comprehensive model for measuring the potential impact of information technology on organizational strategic variables.** Decision Sciences, v. 22, p. 870-897, 1991.

MARSON, M. D. **A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920.** SciELO, São Paulo, out/dez. 2014.

MENDES, T. **Conheça 3 iniciativas brasileiras de Internet das Coisas (IoT).** 2020. Disponível em: <<https://www.napratica.org.br/iniciativas-brasileiras-de-internet-das-coisas-iot/>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

MICROSOFT. **O que é computação em nuvem.** 2016. Disponível em:<<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

NETSCAN. **Saiba como a internet das coisas vai mudar nosso dia a dia, para**

sempre. 2014. Disponível em: <<http://netscandigital.com/blog/internet-das-coisas/>>. Acesso em: 03 jul. 2022.

NUNES, P. **Taylorismo**. 2015. Disponível em: <<http://know.net/cienceconempr/gestao/taylorismo/>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PENA, R. F. A. **Terceira Revolução Industrial**. 2016. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/terceira-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2022.

PETRIN, N. **Terceira Revolução Industrial**. 2014. Disponível em: <<http://www.estudopratico.com.br/terceira-revolucao-industrial/>>. Acesso em 18 jul. 2022.

PETTIGREW, A. M. **On studying organizational cultures**. Administrative Science Quarterly, p. 570-581, 1979.

PINTO, C. F. **Em busca do cuidado perfeito: aplicando Lean na saúde**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2014.

RUBMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. The Boston Consulting Group: BCG, 2015.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. **As revoluções industriais até a indústria 4.0**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 22 jul. 2022.

SAS. **Big Data: what it is and why it matters**. 2016. Disponível em: <http://www.sas.com/pt_br/insights/big-data/what-is-big-data.html>. Acesso em: 16 ago. 2022.

SCHAFFER, G. **Revolução Industrial (2º fase)**. 2015. Disponível em: <<http://schaffergabriel.blogspot.com.br/2015/02/revolucao-industrial-2-fase.html>>. Acesso em: 10 ago. 2022

SCHEIN, E. H. **Organizational Culture and Leadership**. Jossey Bass Incorporated, San Francisco, 2004.

SCHNEIDER, B.; GONZÁLEZ-ROMÁ, V.; OSTROFF, C. WEST, M. A. **Organizational climate and culture: Reflections on the history of the constructs in JAP**. Journal of Applied Psychology, 2017.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; HOMPEL, M. ten; WAHLSTER, W. **Industrie 4.0 Maturity Index (acatech STUDY)**. Munich: Herbert Utz Verlag, 2017.

SCHULZE, J.H.; PINKOW, F. Leadership for Organisational Adaptability: How Enabling Leaders Create Adaptive Space. Adm. Sci, 2020.

SCHWAB, K. **Klaus Schwab: Navigating the Fourth Industrial Revolution**. 2016. Disponível em: <<http://www.biznews.com/wef/davos-2016/2016/01/20/klaus-schwab-navigating-the-fourth-industrial-revolution/>>. Acesso em: 02 ago. 2022.

SETEC CONSULTING GROUP. **Afinal, o que é Lean?** Disponível em: <<https://setecnet.com.br/home/afinal-o-que-e-lean/>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

SHAHIN, M. CHEN, F.; BOUZARY, H.; KRISHNAIYER, K. **Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 107, n. 5–6, p. 2927–2936, 28 mar. 2020.

SILVA, L. **Modernidade e desigualdades sociais**. Lisboa: Universidade Aberta, 2008.

SILVA, D. B. da. et al. **O Reflexo da Terceira Revolução Industrial na Sociedade**. XXII Encontro nacional de Engenharia de Produção, 2012, Curitiba. Curitiba, ABEPRO, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr82_0267.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022

SILVEIRA, C. B. **O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. Citisystems, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SOH, C.; MARKUS, M. L. **How IT creates business value: a process theory synthesis**. Proceedings of the Sixteenth International Conference on Information Systems. Amsterdam, 1995.

SONY, M. **Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions**. Production & Manufacturing Research, v. 6, n. 1, p. 416–432, 30 jan. 2018.

SOUSA, R. G. **Segunda Revolução Industrial**. 2016. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/historiag/segunda-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

TORTORELLA, G. L.; GIGLIO, R.; VAN DUN, D. H. **Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement**. International Journal of Operations & Production Management, v. 39, n. 6/7/8, p. 860-886, 13 set. 2019.

UMUC. **Cyber Security Primer**. 2016. Disponível em: <<http://www.umuc.edu/cybersecurity/about/cybersecurity-basics.cfm>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

VADHER, R. **A realidade aumentada visualiza processos de produção complexos**. 2015. Disponível em: <<https://rishivadher.blogspot.com.br/2015/07/a-realidade-aumentada-visualiza.html>>. Acesso em: 31 jul. 2022.

VENTURELLI, M. **Indústria 4.0: uma visão da automação industrial**. Automação Industrial, nov. 2017. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 10 jul. 2022

WARNIER, J. **A mundialização da cultura**. Lisboa: Editorial Notícias, 2002.

WIKIMEDIA COMMONS. 2011. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TM158_Strong_Calico_Loom_with_Planed_Framing_and_Catlow%27s_Patent_Dobby.png>. Acesso em: 17 jul. 2022.

ZWICKER, R.; SOUZA, C. A. de; VIDAL, A. G. da R.; SIQUEIRA, J. de O. **Grau de informatização de empresas: um modelo estrutural aplicado ao setor industrial de São Paulo**. Fundação Getulio Vargas – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, v. 6, n. 2, jul./dez. 2007