



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



RENAN MARSCHALL

**SISTEMATIZAÇÃO DE INTEGRAÇÃO DA METODOLOGIA 5S PARA
ORGANIZAÇÃO DO POSTO DE TRABALHO E ARMAZENAMENTO
DE FERRAMENTAS EM UM CONTEXTO DE INDÚSTRIA 4.0**

CURITIBA
2022

RENAN MARSCHALL

**SISTEMATIZAÇÃO DE INTEGRAÇÃO DA METODOLOGIA 5S PARA
ORGANIZAÇÃO DO POSTO DE TRABALHO E ARMAZENAMENTO
DE FERRAMENTAS EM UM CONTEXTO DE INDÚSTRIA 4.0**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dalberto Dias da Costa

**CURITIBA
2022**

RESUMO

A nova conjuntura global, com maior conectividade, necessidade de resposta rápida, automática e autônoma das empresas aos clientes e aumento de competitividade entre as corporações, faz com que as empresas busquem atuações automatizadas e em tempo real para os problemas a nível de produção e gestão, reduzindo desperdícios e aumentando sua competitividade. As tecnologias associadas ao que conhecemos como a quarta revolução industrial trazem esses aspectos de introduzir nas indústrias novas ferramentas que tornam as empresas mais autônomas e com resposta mais rápida. Neste contexto, as tecnologias são incorporadas aos métodos tradicionais de gestão e produção, como *Lean Manufacturing*, amplificando seus resultados. Essa monografia tem como objetivo avaliar a aplicação da metodologia 5S no chão de fábrica, utilizando conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 para essa filosofia que ainda é totalmente dependente da atuação direta dos colaboradores da empresa. O estudo de caso foi realizado em uma empresa do ramo metalmeccânico, na área de usinagem de peças, em que há uma grande quantidade de máquinas e equipamentos, e o 5S tradicional já está aplicado e bem arraigado na cultura dos colaboradores. A utilização do próprio sistema de produção atual da empresa para implantação da metodologia é algo que auxilia na viabilidade da proposta.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Industrie 4.0; 5S; *Smart 5S*; Quarta revolução industrial;

ABSTRACT

The new global conjuncture, with high connectivity, the need for fast, automatic and autonomous response to clients, and increased competitiveness between companies, made the companies change and search for automatic responses in real time for problems in production e management levels, lowering waste and increasing competitiveness. The technologies associated with what is known as the fourth industrial revolution brought aspects that introduced to industries new technologies that can make enterprises more autonomous and with fast action. In this context, the technologies are incorporated to the traditional production and management methods, such as Lean Manufacturing, amplifying its results. The following work has the goal to evaluate and apply the 5S methodology in the shop floor, using the Industry 4.0 concepts and technologies to enhance this philosophy that still totally depends on direct manual actions from the workers. The study case was made in a manufacturing shop floor, in the machining process, in which there are many machines and equipment, and the traditions 5S is already applied and well known by the workers. The usage of the company own manufacturing system to implement the proposed methodology goes along with the viability of the project.

Keywords: Industry 4.0; Industrie 4.0; 5S; Smart 5S; Fourth industrial revolution;

A computer would deserve to be called intelligent if it could deceive a human into believing that it was human.

Alan Mathison Turing, 1950

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - EXEMPLO DE DIVULGAÇÃO INTERNA DA EMPRESA SOBRE 5S.....	14
FIGURA 2 - ANO ESPERADO PARA INFLEXÃO DAS TECNOLOGIAS.....	20
FIGURA 3 - PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	21
FIGURA 4 - PIRÂMIDE DE AUTOMAÇÃO.....	22
FIGURA 5 - MODELO ATUAL (ESQ.) E PROPOSTO (DIR.)	23
FIGURA 6 - TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	24
FIGURA 7 - CONEXÕES IOT.....	25
FIGURA 8 - EXEMPLO <i>BLOCKCHAIN</i>	26
FIGURA 9 - COMPUTAÇÃO EM NUVEM.....	27
FIGURA 10 - USINAGEM HÍBRIDA COM MANUFATURA ADITIVA.....	29
FIGURA 11 - REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA EM JOGO PARA SMARTFONES.....	30
FIGURA 12 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MICROSOFT HOLOLENS.....	31
FIGURA 13 - BRAÇO ROBÓTICO UTILIZADO PARA REBARBAÇÃO DE PEÇA FUNDIDA.....	33
FIGURA 14 - AGV NA PLANTA DA WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS.....	34
FIGURA 15 - SIMULAÇÃO DE ACESSOS E DEFORMAÇÃO DE PEÇA DURANTE O PROCESSO DE USINAGEM.....	35
FIGURA 16 - INTEGRAÇÃO VERTICAL E HORIZONTAL.....	36
FIGURA 17 - METODOLOGIA DE ANÁLISE DA I4.0.....	37
FIGURA 18 - MODELO DE AVALIAÇÃO ACATECH.....	38
FIGURA 19 - NÍVEIS DE MATURIDADE.....	39
FIGURA 20 - 5 SENSOS.....	41
FIGURA 21 - SENSO DE UTILIZAÇÃO.....	42
FIGURA 22 - SENSO DE ORGANIZAÇÃO.....	42
FIGURA 23 - SENSO DE LIMPEZA.....	43
FIGURA 24 - SENSO DE PADRONIZAÇÃO.....	43
FIGURA 25 - SENSO DE DISCIPLINA.....	44
FIGURA 26 - SMART-5S.....	45
FIGURA 27 - PINTURA DE MOTOR ELÉTRICO.....	46

FIGURA 28 - MOVIMENTAR PEÇAS.....	47
FIGURA 29 - POSICIONAR PEÇA EM DISPOSITIVO E MEDIR PEÇA.....	48
FIGURA 30 - FORMULÁRIO PADRÃO PARA AVALIAÇÃO DE NVAA.....	49
FIGURA 31 - GOLDEN ZONE.....	50
FIGURA 32 - STRIKE ZONE.....	51
FIGURA 33 - COMPONENTES USINADOS EM FOFO PARA MOTORES ELÉTRICOS.....	52
FIGURA 34 - 3 ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DO 5S NA WEG.....	53
FIGURA 35 - FORMULÁRIO DE AUDITORIA 5S.....	54
FIGURA 36 – DISPOSTIVO DE USINAGEM DE GRANDE PORTE.....	55
FIGURA 37 – CAIXAS PARA ARMAZENAMENTO DE FERRAMENTAIS.....	56
FIGURA 38 – ORDEM DE PRODUÇÃO.....	57
FIGURA 39 – MATERIAIS ATRELADOS A UM FERRAMENTAL.....	59
FIGURA 40 – CONTADOR DE PEÇAS DENTRO DO PLANO DE MANUTENÇÃO DO FERRAMENTAL.....	60
FIGURA 41 – CONTADOR DE CICLOS.....	61
FIGURA 42 – SENSO DE UTILIZAÇÃO VIA PLANO DE MANUTENÇÃO (MAP).....	63
FIGURA 43 – FERRAMENTAIS MANTIDOS NO POSTO DE TRABALHO.....	65
FIGURA 44 – AUDITORIA INTERNA COM AUXÍLIO DE TABLET.....	68

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DEPARTAMENTO EM NÚMEROS.....	57
TABELA 2 - RECLAMAÇÃO INTERNA PARA FERRAMENTAIS	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

I4.0.....	Indústria 4.0
ACATECH.....	Academia nacional de ciência e engenharia (Alemanha)
LM.....	<i>Lean Manufacturing</i>
IoT.....	Internet das coisas
IIoT.....	Internet industrial das coisas
CPS.....	Sistemas ciberfísicos
ANSI.....	Instituto Americano de Padrões Nacionais
PLC.....	Controlador lógico programável
CNC.....	Comando numérico computadorizado
SCADA.....	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
ERP.....	<i>Enterprise Resource Planning</i>
MES.....	Sistema de execução de manufatura
IEC.....	Comissão Eletrotécnica Internacional
CAD.....	<i>Computer aided design</i>
CAM.....	<i>Computer aided manufacturing</i>
CAE.....	<i>Computer aided engineering</i>
RA.....	Realidade aumentada
RV.....	Realidade virtual
AGV.....	<i>Automated Guided Vehicle</i>
OEE.....	Eficiência global do equipamento
5S.....	Cinco sentidos
TPS.....	Sistema Toyota de Produção
DVSM.....	Mapeamento digital do fluxo de valor
WCM.....	<i>World Class Manufacturing</i>
VAA.....	<i>Value added activities</i>
NVAA.....	<i>Non-Value added activities</i>
NVAA-N.....	<i>Non-Value added activities - Necessary</i>
SP.....	<i>Strike point</i>
SZ.....	<i>Strike zone</i>
NOK.....	Não ok
MAP.....	Meio auxiliar de produção
WCM.....	<i>World Class Manufacturing</i>

OP.....	Ordem de produção
CT.....	Centro de trabalho
PNP.....	Passa-Não passa
FoFo.....	Ferro fundido
PCP.....	Planejamento e Controle da Produção

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2. OBJETIVO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....	16
2.1.1. PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	16
2.1.2. SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	17
2.1.3. TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	17
2.1.4. QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	18
2.2. INDÚSTRIA 4.0.....	19
2.2.1. PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	20
2.2.2. PIRÂMIDE DE AUTOMAÇÃO – ISA 95.....	21
2.2.2.1. <i>Novo conceito de pirâmide de automação</i>	23
2.2.3. TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	24
2.2.3.1. <i>Internet of Things – IoT e Industrial Internet of Things – IIoT</i>	24
2.2.3.2. <i>Segurança da Informação</i>	25
2.2.3.3. <i>Computação em nuvem</i>	26
2.2.3.4. <i>Manufatura aditiva</i>	27
2.2.3.5. <i>Realidade virtual e aumentada</i>	29
2.2.3.6. <i>Big data</i>	31
2.2.3.7. <i>Robótica</i>	32
2.2.3.8. <i>Simulações</i>	34
2.2.3.9. <i>Integração de sistemas</i>	35
2.2.4. NÍVEL DE MATURIDADE PARA INDÚSTRIA 4.0	37
2.2.4.1. <i>Os 6 níveis de maturidade</i>	38
2.2.5. I4.0 e LEAN MANUFACTURING	40
2.3. 5S 40	
2.3.1. SENSO DE UTILIZAÇÃO (SEIRI)	41
2.3.2. SENSO DE ORGANIZAÇÃO (SEITON).....	42
2.3.3. SENSO DE LIMPEZA (SEISOU).....	42
2.3.4. SENSO DE PADRONIZAÇÃO (SEIKETSU).....	43
2.3.5. SENSO DE DISCIPLINA (SHITSUKE).....	43
2.3.6. 5S NO CONTEXTO DE INDÚSTRIA 4.0	44
2.3.6.1. <i>Smart-5S</i>	44

2.4. NVAA	46
2.4.1. VAA, NVAA E NVAN	46
2.4.2. GOLDEN E STRIKE ZONE	49
3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO	52
3.1. ÁREA DE ESTUDO	52
3.2. SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAIS.....	54
3.2.1. ORDENS DE PRODUÇÃO.....	57
3.2.2. SISTEMÁTICA VIA MAP	59
3.2.2.1. <i>Plano de manutenção</i>	60
3.2.3. 1S – SENSO DE UTILIZAÇÃO.....	62
3.3. SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DO POSTO DE TRABALHO.....	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A indústria global está passando por uma transformação profunda na forma como as corporações fazem as coisas, enxergam o futuro e quais os meios que serão utilizados para manter as empresas em um mercado muito competitivo e dinâmico. Essa quebra com os modos tradicionais está relacionada ao que a ACATECH (Academia nacional de ciência e engenharia da Alemanha) definiu como uma nova revolução industrial, cunhando o termo Indústria 4.0 para definir empresas que estão adequadas a esse novo cenário global. Assim como nas revoluções industriais anteriores, essa quarta revolução industrial é marcada por uma mudança profunda e estrutural, que impacta empresas e indivíduos, alterando o cenário socioeconômico global.

A Indústria 4.0 será uma empresa que integra os seus sistemas físicos com o mundo digital, com softwares que reproduzem processos de produção em tempo real, coletando dados, interagindo com as máquinas e equipamentos e tomando decisões em tempo real para o melhor interesse da corporação, aumentando a produtividade, a eficiência e, por consequência, a competitividade da empresa. As principais tecnologias que serão utilizadas nesse contexto de Indústria 4.0 são:

- Robôs autônomos;
- Simulações;
- Integração entre sistemas;
- Internet das Coisas (IoT) e Internet Industrial das Coisas (IIoT);
- Segurança da informação;
- Computação em nuvem;
- Manufatura aditiva;
- Realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV);
- Big data.

Neste contexto de Indústria 4.0, a WEG Equipamentos Elétricos, empresa brasileira reconhecida internacionalmente como uma das maiores empresas fabricantes de equipamentos elétricos do mundo, como geradores, turbinas hidráulicas, CLPs e, principalmente, motores elétricos, é uma empresa que reconheceu essa tendência mundial de mercado e está investindo em desenvolvimentos de tecnologias e soluções para a I4.0. Além disso, fomentando grupos de trabalhos internos para aplicação dessas tecnologias a fim de tornar a empresa mais eficiente e competitiva.

1.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Em um ambiente industrial, as tecnologias da I4.0 podem ser utilizadas em conjunto com a metodologia *Lean Manufacturing (LM)*, ou Manufatura Enxuta, com o objetivo de maximizar os resultados e elevar a melhoria contínua dentro da empresa. Uma das ferramentas de base mais utilizadas dentro da metodologia *LM* é a aplicação do 5S, que tem como objetivo tornar o ambiente de trabalho organizado de forma ergonômica, prática, limpa e otimizada, mantendo objetos e equipamentos prontos para uso. Como o 5S é uma ferramenta que atualmente ainda depende muito da cultura da empresa e da colaboração dos funcionários, de forma individual e coletiva, são poucas as soluções tecnológicas aplicadas para sua implantação e manutenção.

O objeto de estudo será na empresa WEG Equipamentos Elétricos, mais especificamente no Departamento de Usinagem de Fundidos da divisão de motores elétricos para aplicação industrial. Este é um departamento fabril, composto por dois prédios, mais de 700 colaboradores e mais de 350 máquinas e equipamentos dedicados à usinagem de componentes em ferro fundidos para motores elétricos.

A metodologia 5S já está bem estruturada dentro da corporação como um todo, com padrões bem definidos e normas internas (Figura 1) que discorrem sobre a aplicação e manutenção desses recursos no ambiente fabril. Além disso, atualmente o 5S já está bem difundido entre os colaboradores de chão de fábrica, e a maior parte dos postos de trabalho conta com estruturas de limpeza e organização.

Figura 1 – Exemplo de divulgação interna da empresa sobre 5S



Fonte: Manual interno WEG, 2022

A maior dificuldade atualmente para aplicar o 5S de maneira correta, desde o início da implantação até a sua manutenção a longo prazo, é que praticamente todas as atividades ainda são dependentes de ação humana. Seja para fazer uma busca de quais são as ferramentas e recursos que devem ficar no posto de trabalho e quais não são necessários para a atividade, até para as auditorias dos postos de trabalho e descarte de objetos que não são mais usados. Por esse motivo, a organização correta do posto de trabalho depende muito do conhecimento e ação dos operadores de máquinas, que conhecem empiricamente quais os recursos mais utilizados nos seus postos de trabalho ou da proatividade dos colaboradores das áreas de apoio, que precisam tirar tempo de sua rotina para fazer essa avaliação posto a posto.

Outro problema recorrente devido à falta de uma sistemática automatizada de 5S é a quantidade de materiais armazenados que não possuem demanda. Por se tratar de um prédio de usinagem, muitos ferramentais são fabricados para usos específicos em produções de lotes únicos, produtos sazonais ou até mesmo linhas de produtos antigas. Com isso, há um grande volume de materiais armazenados no estoque que não são utilizados por muitos meses, até mesmo anos, e que provavelmente nunca mais serão utilizados, mas ficam tomando espaço na fábrica.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho será criar uma sistemática automatizada para auxiliar na implantação do 5S, principalmente dos dois primeiros sentidos, de Utilização e de Organização. Para isso, serão utilizadas informações coletadas do sistema de processamento de dados utilizado atualmente na empresa, além de conceitos e tecnologias pensando em um contexto de 5S para a Indústria 4.0.

Com isso, espera-se maior eficiência da aplicação do 5S a nível de chão de fábrica, reduzindo a dependência humana para sua aplicação e tendo um maior grau de atualização no posto de trabalho, tendo em vista que o mix de materiais varia ao longo do tempo, logo os recursos necessários para produção também variam. Espera-se também a redução da quantidade de materiais e ferramentais armazenados no estoque por longos períodos de tempo sem previsão de utilização. Fazendo um cruzamento de dados entre demandas passadas e futuras, será possível definir padrões para descarte de materiais e manutenção de um estoque enxuto de materiais.

A utilização do sistema atual de gerenciamento de produção da empresa (SAP), tem como objetivo viabilizar a implantação da sistematização de forma orgânica e integrada entre os sistemas existentes e recursos disponíveis. Dessa forma, o custo de implantação pode ser reduzido, viabilizando a implantação do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

As revoluções denotam uma mudança abrupta e radical com o sistema vigente ou forma de fazer as coisas (SCHWAB, 2016). Elas são desencadeadas por movimentos socioeconômicos, desenvolvimento de novas tecnologias e novas formas de percepção do mundo. Como consequência, as revoluções trazem consigo mudanças que marcam períodos e impactam diretamente na vida em sociedades. Na Inglaterra do século XVII, a Revolução Gloriosa rompeu o absolutismo monárquico da época, levando a burguesia inglesa a ser pioneira nas evoluções que levaram à industrialização do país, culminando na primeira revolução industrial e tornou a Inglaterra a maior potência industrial do século XIX. De forma similar, a Revolução Francesa, na França do século XVIII, também modificou o sistema político da época que alavancou a transição de um país rural para sua industrialização.

2.1.1. PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Como citado anteriormente, a primeira revolução industrial teve as suas raízes no século XVII após a Revolução Gloriosa, mas foi entre meados do século XVIII e início do século XIX (1760 a 1840), que a primeira revolução industrial realmente aconteceu, inicialmente na Europa, sobretudo na Inglaterra, seguindo para outros países da Europa Ocidental e EUA.

Os métodos de produção da época eram de base rural e artesanal. O artesão era detentor de todo o processo produtivo, desde a matéria-prima até o conhecimento sobre o produto. Os meios de força e tração disponíveis eram de origem humana e animal.

Com o advento das máquinas a vapor, alimentadas principalmente por carvão mineral, os meios de produção passaram a ser dominados pela burguesia da época, que contratava pessoas para operar os equipamentos, pagando seus salários. A produtividade das empresas teve aumento considerável nesse período e a industrialização possibilitou a produção em larga escala de bens e produtos, aumentando o acesso da população em geral e possibilitando a exportação para outros

mercados consumidores. O transporte de pessoas e bens também foi facilitado com a construção de malhas ferroviárias e trens a vapor, que trouxe uma opção mais rápida e confiável de transporte entre cidades.

A primeira revolução industrial também acelerou êxodo rural e crescimento dos centros urbanos, composto por pessoas que procuravam melhores oportunidades nas cidades.

2.1.2. SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A segunda revolução industrial ocorreu entre meados do século XIX e meados do século XX (1850 a 1950) e teve como principais fatores disruptivos o uso da energia elétrica para tração de equipamentos industriais e introdução das linhas de produção em massa.

Os equipamentos elétricos substituíram as máquinas a vapor, pois são equipamentos mais simples, de menor custo de manutenção e que oferecem maior flexibilidade no seu uso. Já as linhas de produção trouxeram um ganho de produtividade para as indústrias, pois os operadores agora tinham suas funções divididas, sendo cada um responsável por parte do processo e não pelo todo. Isso aumentou a eficiência das plantas e possibilitou que a curva de aprendizagem de um novo operador reduzisse drasticamente, tendo em vista que agora ele precisa aprender apenas a sua função específica e não o processo como um todo.

2.1.3. TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A terceira revolução industrial teve início após o fim da Segunda Guerra Mundial (1945) e pode-se considerar que essa revolução durou até a primeira década do século XXI (2010). Um dos grandes catalisadores para os desenvolvimentos tecnológicos que ocorreram nesse período foi a Guerra Fria entre EUA e URSS, que nesse período brigavam para ser a potência hegemônica global. Vários avanços tecnológicos foram feitos pelas potências, culminando com a ida do homem ao espaço e posteriormente até a lua, em 1969.

Esse período foi marcado pelo desenvolvimento dos computadores, avanço das telecomunicações, com o uso dos telefones móveis, e o advento da internet. Esses

elementos foram essenciais para trazer maior conectividade entre países do mundo todo. Empresas se tornaram mais globalizadas, tendo filiais em vários países e mercados consumidores, inclusive com tendência de migrar os parques fabris para países subdesenvolvidos, em que a mão de obra era abundante e barata.

O desenvolvimento de formas alternativas para geração de energia elétrica, como nuclear e energias renováveis, aumentou a disponibilidade desse recurso e auxiliou no crescimento das indústrias.

2.1.4. QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Schwab (2016), a quarta revolução industrial teve início na primeira década do século XXI e baseia-se em uma revolução digital, caracterizada pelo uso intensivo da internet, sensores, inteligência artificial e meios digitais.

A primeira vez em que o termo Indústria 4.0 foi citado, foi em 2011 na *Hannover Messe*, uma feira de negócios na Alemanha, que tem como objetivo o desenvolvimento industrial. Esse termo foi cunhado pelo governo alemão para definir um projeto de desenvolvimento de alta tecnologia para a indústria do país. A ACATECH, Academia nacional de ciência e engenharia da Alemanha, é um dos institutos pioneiros e líderes no desenvolvimento desses estudos.

Segundo Kagermann *et al.* (2013): “No futuro, as empresas irão estabelecer redes globais incorporando suas máquinas, sistemas de armazenamento e instalações produtivas no formato de sistemas ciberfísicos (CPS)”. Também cita que as empresas inteligentes do futuro, são dinâmicas do ponto de vista de negócio e processos, adequando a sua forma de produção às necessidades dos clientes. A tomada de decisões será feita de forma autônoma e baseada em dados coletados de dentro e fora da empresa.

A quarta revolução industrial deixará as empresas mais adaptadas ao novo cenário de sociedade, em que as pessoas estão cada vez mais conectadas entre si e ao mundo digital. A necessidade de tomada de decisões rápidas e autônomas, aumento da flexibilidade dos meios produtivos, personalização em massa e redução de custos através da redução de desperdícios e aumento da eficiência dos processos, são alguns dos benefícios dessa nova revolução industrial.

2.2. INDÚSTRIA 4.0

Segundo Kagermann *et al.* (2013), Indústria 4.0 é uma revolução que envolve a conexão em tempo real de produtos, processos e infraestrutura. Similar às outras três revoluções industriais, ela terá um impacto profundo e global em processos de manufatura, nos modelos de negócios, nas tecnologias e no ambiente de trabalho das pessoas. Ainda é cedo para determinarmos com precisão como serão as fábricas do futuro, mas podemos afirmar que a conectividade e cooperação serão pontos-chaves dessa revolução.

Schwab (2016) cita que no decorrer dessa quarta revolução industrial, poderemos identificar megatendências tecnológicas, que ele dividiu em três categorias: física, digital e biológica.

Na categoria física, são 4 as principais manifestações tecnológicas:

- Veículos autônomos;
- Impressão 3D ou Manufatura aditiva;
- Robótica avançada;
- Novos materiais.

A categoria digital é aquela que apresenta o maior número de novas tecnologias e disrupções em relação ao que conhecemos atualmente. Um dos maiores desafios é fazer a conexão entre o mundo físico e o mundo digital, pois o uso dessas tecnologias digitais dependerá da velocidade, volume e qualidade dos dados transmitidos dos meios físicos para o digital. A principal ponte entre o digital e o físico será a Internet das Coisas (IoT), que será discutida posteriormente neste trabalho.

Por fim, as megatendências tecnológicas na área biológica são aquelas que provavelmente terão maior impacto direto na população em geral, devido aos avanços possíveis na genética e manipulação de DNA. Possibilidade de curas de doenças crônicas e até fabricar órgãos em laboratório são algumas das possibilidades com essa nova era da engenharia genética.

Apesar de ainda estarmos no início do processo de revolução 4.0, o Fórum Econômico Mundial fez uma publicação em 2015 de uma pesquisa com 800 executivos e especialistas nas áreas de tecnologia da informação e comunicação, com a visão deles sobre 21 pontos de inflexão das tecnologias disruptivas da quarta revolução industrial (Figura 2). O ponto de inflexão foi definido como sendo momento em que essa tecnologia alcançaria a sociedade de maneira ampla.

Figura 2 – Ano esperado para inflexão das tecnologias (média dos resultados)

2018	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
- Storage for All	- Robot and Services	- The Internet of and for Things - Wearable Internet - 3D Printing and Manufacturing	- Implantable Technologies - Big Data for Decisions - Vision as the New Interface - Our Digital Presence - Governments and the Blockchain - A Supercomputer in Your Pocket	- Ubiquitous Computing - 3D Printing and Human Health - The Connected Home	- 3D Printing and Consumer Products - AI and White-Collar Jobs - The Sharing Economy	- Driverless Cars - AI and Decision-Making - Smart Cities	- Bitcoin and the Blockchain

Fonte: Fórum Econômico Mundial, 2015

Percebe-se que a percepção geral dos especialistas é que estamos próximos dos pontos de inflexão para essas tecnologias. Isso indica que estamos nos aproximando dessas alterações e que é preciso que as corporações compreendam o impacto que elas devem gerar.

2.2.1. PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0

Segundo Hermann *et al.* (2015), há 6 princípios da Indústria 4.0 (Figura 3) que podem auxiliar as empresas a identificar potenciais de implementação da Indústria 4.0:

- Interoperabilidade: possibilidade de comunicação entre todos os sistemas através da rede.
- Virtualização: permite que os dados coletados dos sistemas físicos sejam transmitidos para o meio digital, alimentando os modelos virtuais dos equipamentos e parque fabril.
- Descentralização: os processos produtivos não serão engessados ou rigidamente controlados. A tomada de decisão sobre a sequência de operações é feita de maneira autônoma e em tempo real, pelo próprio produto.
- Capabilidade em tempo real: coleta e tratamento dos dados em tempo real, com conectividade e autonomia suficiente para alterar sequências e processos sem interferência humana.
- Orientação para serviços: os serviços e mão de obra da companhia estão disponíveis na rede.

- Modularidade: sistemas flexíveis e com alta capacidade de adaptação, para se adequar às mudanças exigidas, seja por mudanças no produto, ou mesmo por flutuações de produção e sazonalidades.

Figura 3 – Princípios da Indústria 4.0

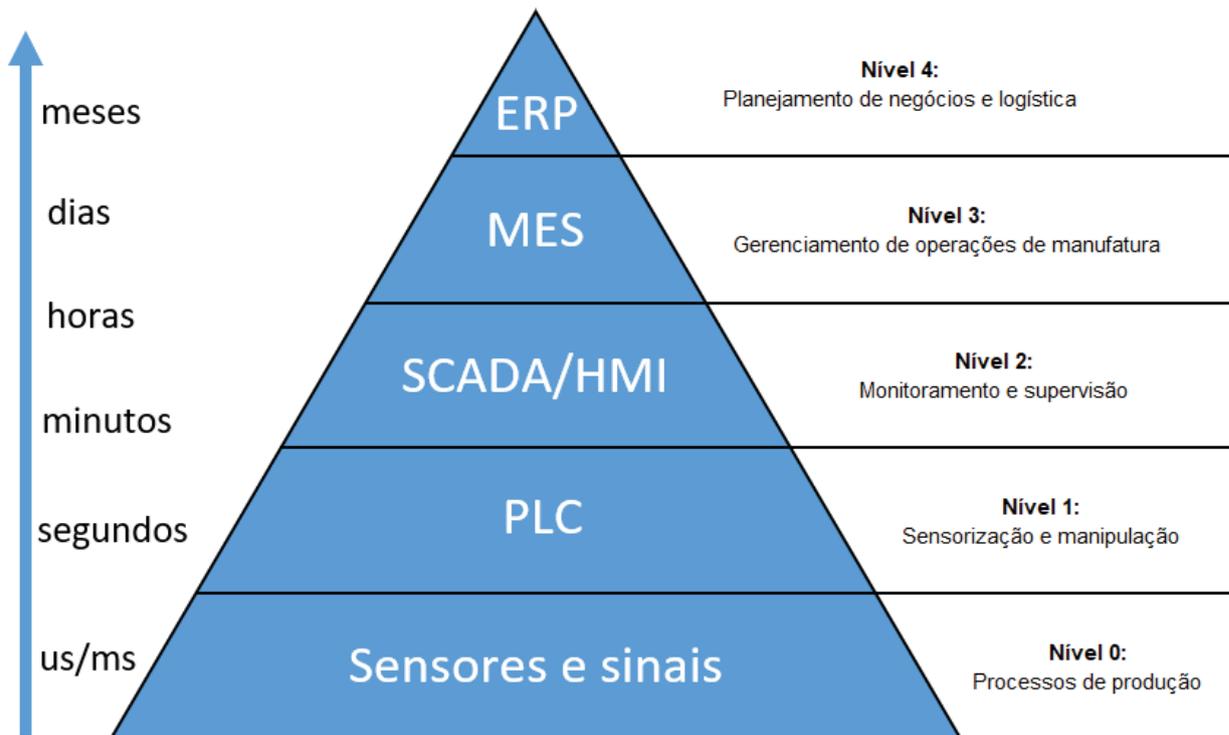


Fonte: Autor, 2022

2.2.2. PIRÂMIDE DE AUTOMAÇÃO – ISA 95

A ISA 95 é um conjunto de normas e padrões estabelecidos no início do século XXI pelo Instituto Americano de Padrões Nacionais (ANSI), com o objetivo de desenvolver as interfaces padrão entre empresas e sistemas automatizados. Um dos seus modelos para descrever a hierarquia entre os vários níveis de automação dentro de uma corporação é a Pirâmide de Automação (Figura 4). Nela, são sequenciados os elementos de automação industrial, divididos a partir do seu nível hierárquico dentro das corporações, e como são feitas as conexões entre elas.

Figura 4 – Pirâmide de automação



Fonte: Autor, 2022

A base da pirâmide são os processos produtivos (chão de fábrica), os dados das máquinas e equipamentos são monitorados através de sensores e instrumentos capazes de gerar dados relevantes para o processo. Eles enviam esses dados para os próximos níveis, que utilizam essas informações para tomada de decisão.

No segundo nível estão os equipamentos de controle, como PLCs (Controladores Lógicos Programáveis) e CNCs (Comandos Numéricos Computadorizados). Esse nível já possui um maior grau de atuação sobre os equipamentos, podendo utilizar os dados enviados pelos sensores para fazer correções, tomar decisões (dentro de um certo limite de lógica programada) e indicar falhas.

Logo acima da hierarquia de automação, estão os sistemas de monitoramento e aquisição de dados, conhecidos como SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). São sistemas utilizados para receber e tratar os dados para possibilitar o controle remoto da produção.

No Nível 3 encontram-se sistemas mais focados no gerenciamento da fábrica como um todo, englobando o planejamento de produção, logística e o próprio processo

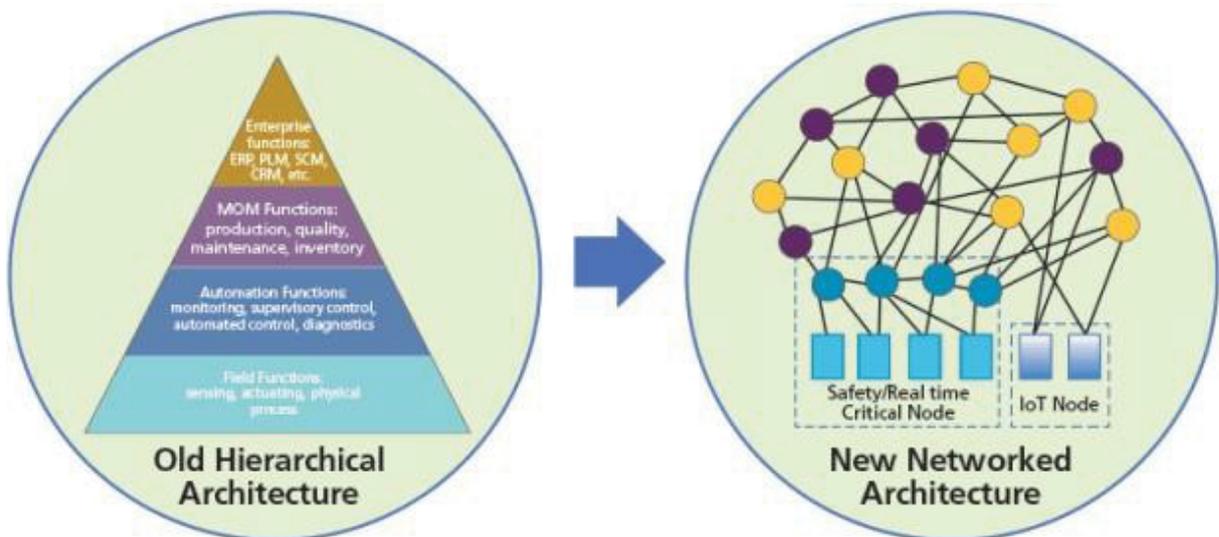
produtivo, trazendo informações referentes à desempenho de processos de forma global e performance da planta.

No topo da pirâmide está o gerenciamento da corporação, responsável pelo planejamento dos negócios. As informações disponíveis nesse nível envolvem todos os departamentos da empresa, logo a quantidade das informações disponíveis é maior e correlacionada de forma direta.

2.2.2.1. Novo conceito de pirâmide de automação

O modelo da pirâmide de automação proposto pela ISA95 é amplamente utilizado e entendido pelas corporações atualmente. As interações entre os níveis da pirâmide são bem definidas e hierárquicas. Porém, tendo em vista a maior conectividade e interoperabilidade trazida pela nova era da I4.0, Brandl e Johnsson (2021) propõem um modelo diferenciado, não hierárquico entre os níveis de automação das corporações (Figura 5).

Figura 5 – Modelo atual (esq.) e proposto (dir.)



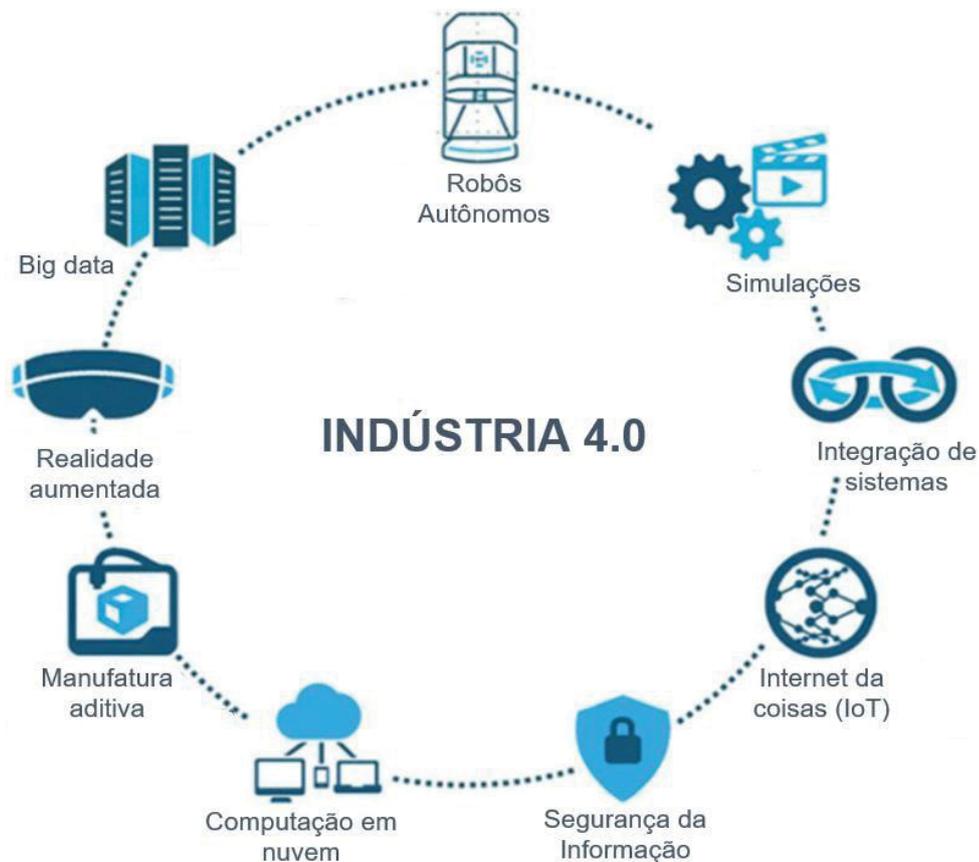
Fonte: Brandl e Johnsson (2021) – isa.org

Nesse novo modelo, os dados podem ter interação direta com os níveis maiores de automação e as conexões desses dados são feitas através de tecnologias de IoT. Além de agilizar o envio dos dados dos níveis mais básicos de automação para os níveis de gerenciamento, o tratamento em forma de *network* deixa essa arquitetura customizável e pode se adequar mais facilmente para a realidade de cada corporação.

2.2.3. TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Albertin e Pontes (2021), citam que o primeiro passo para compreendermos os impactos e rumos que a Indústria 4.0 trarão, é conhecer as tecnologias que compõem essa nova revolução (Figura 6). Essas tecnologias são: robôs autônomos, simulações, integrações de sistemas, internet das coisas, segurança da informação, computação em nuvem, manufatura aditiva, realidade aumentada e *big data*.

Figura 6 – Tecnologias da Indústria 4.0



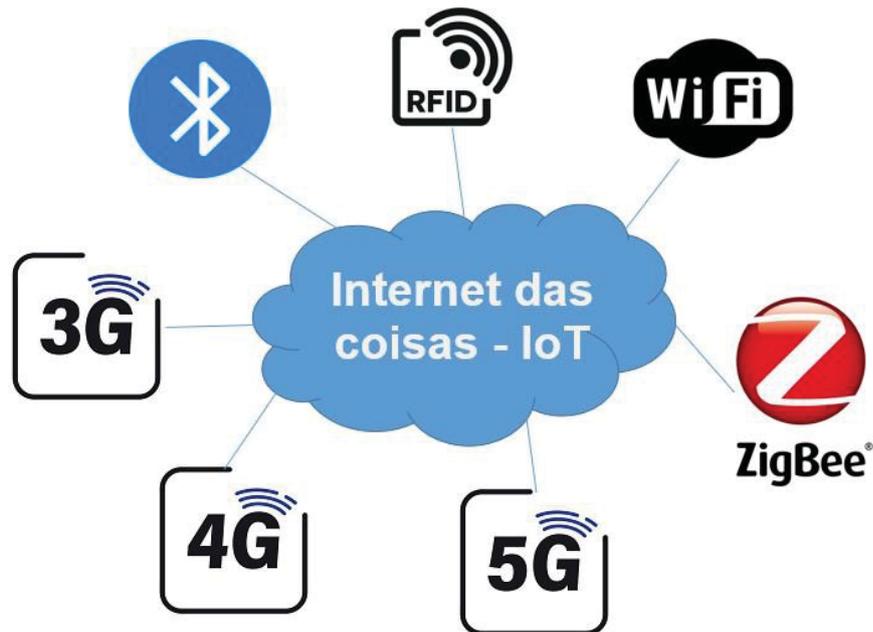
Fonte: Researchgate, 2020 (modificado)

2.2.3.1. Internet of Things – IoT e Industrial Internet of Things – IIoT

A Internet das Coisas (IoT) é um dos elementos principais no desenvolvimento das tecnologias relacionadas à quarta revolução industrial, pois é ela o elo de ligação entre o mundo físico e o digital. IoT consiste na conexão em rede entre objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas por meio de dispositivos eletrônicos, que permitem a coleta de dados e troca de informação entre eles (Almeida, 2019).

Para se conectar aos meios físicos, a IoT utiliza diversas formas de diferentes tecnologias (Figura 7), incluindo redes sem fio (Bluetooth, RFID, Zigbee, Wi-Fi), conexões amplas de rede (3G, 4G, 5G) e conexões via cabo. De forma crescente, IoT representa a convergência entre tecnologia da informação e tecnologias operacionais (MACAULAY *et al.*, 2015).

Figura 7 – Conexões IoT



Fonte: Autor, 2022

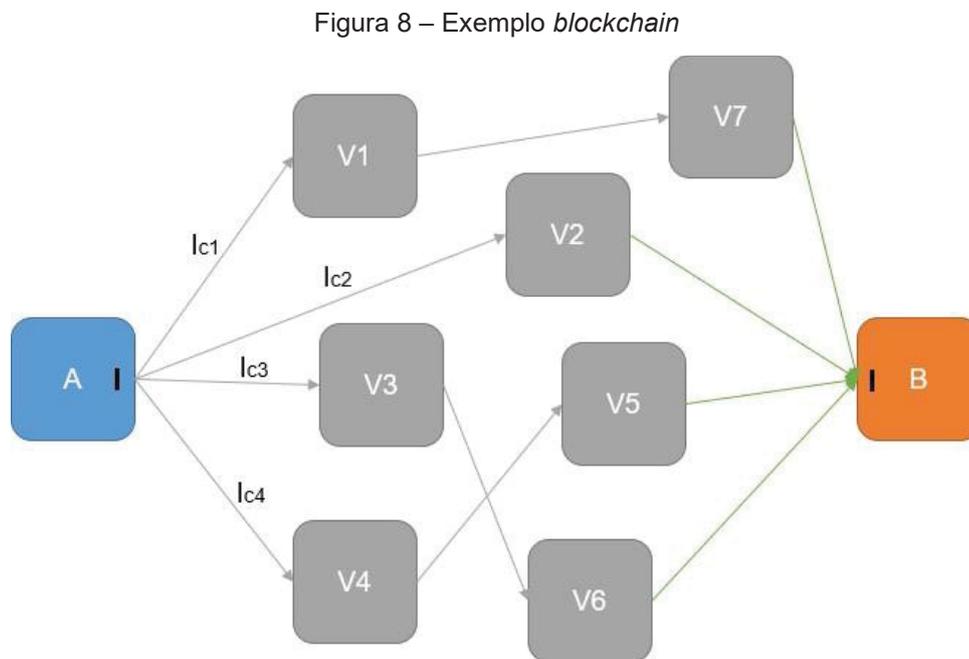
É comum fazer-se a distinção entre IoT, para aplicações gerais, de menor escala e para o público em geral, e IIoT, ou Internet Industrial das Coisas, que são soluções direcionadas para o meio industrial e abrangem soluções mais robustas e focadas. Apesar de características como aparelhos, sensores, conectividade e protocolos estarem presentes nos dois casos, a diferenciação é feita devido à finalidade e criticidade de cada aplicação.

2.2.3.2. Segurança da Informação

Segundo a Comissão Eletrotécnica Internacional – IEC (2015), com a expansão do uso da internet para o controle dos sistemas automatizados, pode-se dizer que todos os sistemas industriais estão vulneráveis do ponto de vista de segurança. Tendo isso em mente, é crucial que tomemos os requisitos de padrões de segurança

de forma séria e focar na proteção contra ataques contra terrorismos digitais, usando modelos adaptativos, de resposta rápida e cooperativos.

Dentre as tecnologias disponíveis para a segurança cibernética, uma das maiores tendências para a I4.0 é o *blockchain*. A tecnologia de *blockchain*, ou cadeia de bloco, em tradução livre e direta, se refere a uma rede de registros distribuídos e contratos inteligentes que são divididos através de blocos e protegidos por criptografia. As informações transmitidas dessa forma não podem ser alteradas ou excluídas após a sua verificação. De uma forma ilustrativa, se a informação “I” precisa ser transmitida de “A” para “B”, ela será quebrada em vários blocos criptografados “Ic_i”, que serão transmitidos por uma rede verificadora descentralizada que confirmará a transação (conforme Figura 8).



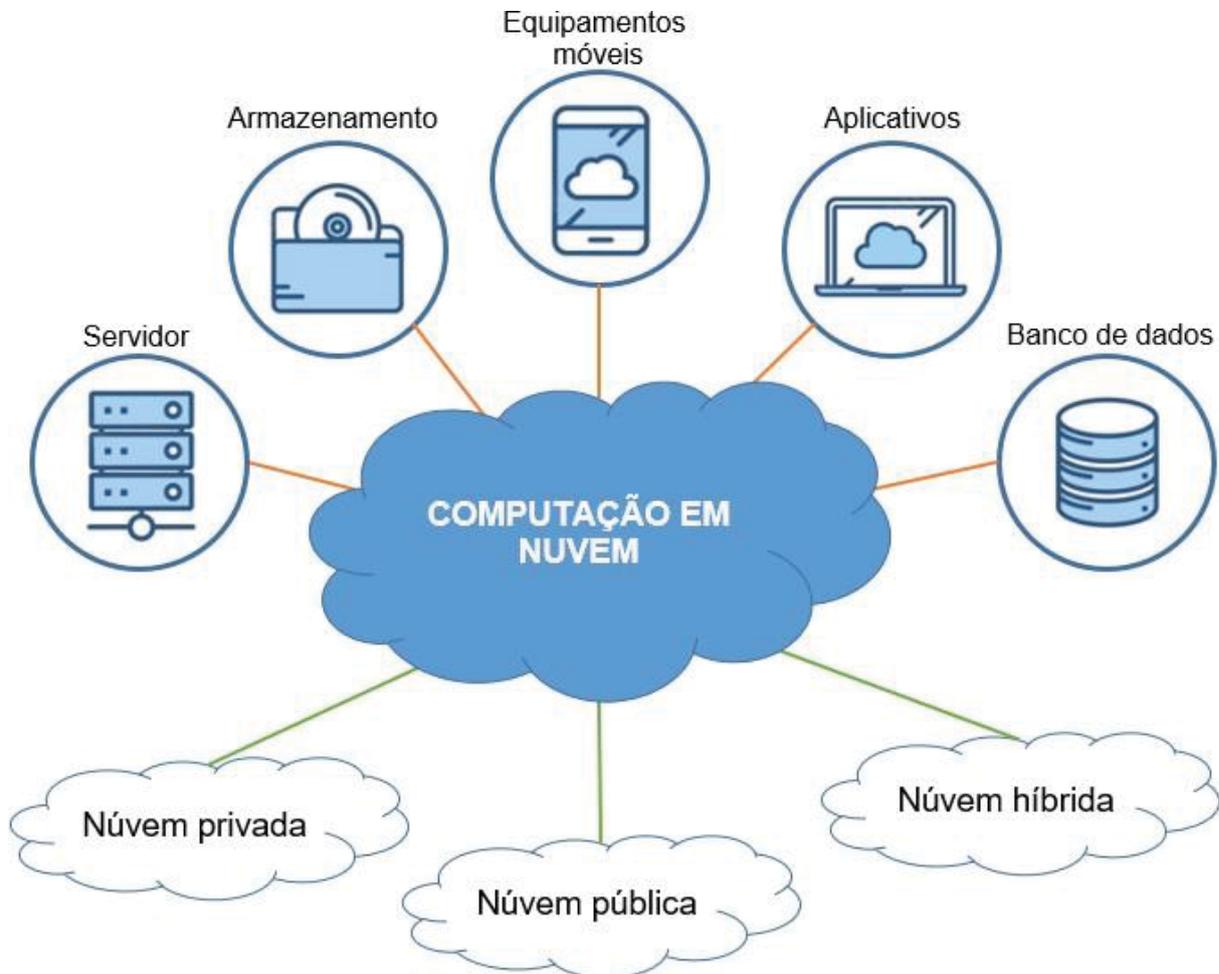
Fonte: Autor, 2022

2.2.3.3. Computação em nuvem

A computação em nuvem descreve um ambiente computacional que é formado por servidores (físicos e/ou virtuais) com capacidade de processamento, armazenamento e conectividade entre si (ALBERTIN E PONTES, 2021). Ela possibilita o acesso e uso de capacidade de processamento de forma terceirizada, por demanda

e de forma descentralizada. Podem ser armazenados dados, acessados por equipamentos móveis, usado para processamento de dados e aplicativos (Figura 9).

Figura 9 – Computação em nuvem



Fonte: Autor, 2022

Um dos principais desafios da computação em nuvem, principalmente quando envolve o processamento de dados fora dos servidores das empresas, é a segurança da informação. Para isso, uma tecnologia habilitadora da computação em nuvem é o *blockchain*, conforme discutido anteriormente. Ele garantirá que os dados enviados para servidores externos sejam tratados de forma segura.

2.2.3.4. *Manufatura aditiva*

Comumente mencionada como Impressão 3D, a manufatura aditiva envolve a produção de peças a partir de adição de camadas sobrepostas de material, seguindo

modelos tridimensionais gerados a partir de softwares CAD (ALMEIDA, 2019). Diferente dos processos de manufatura atuais, que consistem em retirar (usinagem, por exemplo) ou moldar materiais (laminação, fundição, injeção), a manufatura aditiva, como o nome sugere, consiste em adicionar material de forma controlada para atingir o formato desejado.

Por conta de sua flexibilidade, a manufatura aditiva consegue reduzir etapas do processo produtivo e trazer os seguintes benefícios (ALBERTIN E PONTES, 2016):

- produção de variedades de produtos com o mesmo equipamento;
- tempo de suprimento e estoques menores;
- produção de peças com design complexo e customizável em menos etapas e menor tempo;
- eliminar custo com moldes e reduzir custos de protótipos;
- custo de logística reduzido.

Apesar de todos os benefícios, a manufatura aditiva ainda é um processo custoso e demorado, para os padrões de processos produtivos de larga escala, por isso os usos mais comuns e que trazem maiores benefícios são para prototipagem rápida e fabricação de peças complexas em lotes unitários. Os protótipos fabricados em impressoras 3D podem ser feitos para teste de funcionalidades e design, de forma fidedigna ao modelo desenvolvido via software CAD, que em pouco tempo, para os padrões de prototipagem, já estão prontos e podem ser avaliados. Já é possível observar aplicações híbridas da tecnologia de manufatura aditiva com métodos de manufatura tradicionais (Figura 10). A

Figura 10 – Usinagem híbrida com manufatura aditiva



Fonte: <https://www.romi.com/produtos/romi-hybrid/>

Acesso em: Agosto/2022

2.2.3.5. *Realidade virtual e aumentada*

A realidade virtual (RV) é um ambiente simulado por computador, multissensorial e tridimensional, no qual podemos mergulhar e interagir. Usando equipamentos auxiliares de RV é possível experimentar os ambientes simulados através de imagens e sons (SCHWAB, 2018).

A realidade aumentada (RA) também se utiliza de equipamentos e processamento de dados para gerar imagens e sons, mas nesse caso há uma interação entre o ambiente real e o virtual. Pode-se dizer que na RA os objetos reais são sobrepostos pelos digitais, que geram os estímulos desejados para cada propósito. Atualmente já são encontradas aplicações de RA no nosso dia a dia, como em carros, autoescolas e vídeo games (Figura 11).

Figura 11 – Realidade virtual (esq.) e aumentada (dir.) em jogo para smartphones



Fonte: Autor, 2022

Os conceitos e aplicações de RV e RA não são novos, sendo bem difundidos principalmente no mundo dos videogames, uma indústria que atualmente gera mais faturamento do que a indústria do cinema e da música somados. O apelo por experiências mais próximas da realidade impulsionou o desenvolvimento de controle com sensores de movimento e adaptadores de vídeo e áudio para imersão total dos jogadores.

Para as aplicações industriais, vê-se uma tendência em desenvolvimentos voltados ao treinamento de pessoas em ambientes controlados e similares ao encontrado no chão de fábrica. Por exemplo, treinamento de operadores de empilhadeira, que ainda é um recurso muito utilizado nas indústrias e ponto crítico no quesito de segurança. Poderá aplicar RA em orientações de trabalho de forma virtual e interativa, utilizando recursos como GoogleGlass ou Microsoft HoloLens (Figura 12), em que as instruções estão disponíveis em tempo real para a execução da atividade realizada.

Figura 12 – Exemplo de aplicação do Microsoft HoloLens



Fonte: Schibata, 2017

2.2.3.6. *Big data*

O termo *Big Data* está associado à análise de dados estruturados e não estruturados para obter processos mais eficientes e eficazes. É a determinação de probabilidade dos resultados esperados através de algoritmos que processam grande quantidade de dados (ALBERTIN E PONTES, 2016).

É difícil quantificar o quão grande a quantidade de dados deve ser para ser caracterizada como *Big Data*. No final da década de 1990, 1 gigabyte (10^3 bytes) era considerado *Big Data*, já atualmente estima-se na casa de petabytes (10^{15} bytes) ou até mesmo exabytes (10^{18} bytes).

O *Big Data* pode ser caracterizado através de 3 condições básicas, conhecidos por 3 V's:

- **V**olume total de dados disponíveis para processamento, atualmente já se fala em petabytes (PB) e exabytes (EB), mas com tendência de aumento conforme a disponibilidade de informações aumenta.
- **V**elocidade com que os dados estão disponíveis, idealmente os dados devem estar disponíveis de forma instantânea.
- **V**ariiedade dos dados que são recebidos de várias fontes, que podem ser apresentados de forma estruturada ou não, e são processados de forma diferente.

Pode-se citar mais 4 condições complementares, que formam os 7 V's das condições básicas do *Big Data*:

- **Variabilidade** dos dados em relação ao contexto geral em que são apresentados. Os dados apresentados podem ter significados e impactos diferentes dependendo da abordagem realizada, logo os algoritmos precisam entender o contexto geral em que os dados são apresentados para lhes dar o tratamento devido.
- **Veracidade**, confiabilidade e acurácia dos dados recebidos determinam a qualidade das informações geradas.
- **Visualização** dos resultados precisa ser fácil compreensão pelos usuários. O acesso à informação é facilitado pelo uso de gráficos e meios visuais.
- **Valor** do retorno sobre o investimento realizado. Utilizar *Big Data* não é uma atividade fácil e de baixo custo, é preciso que a organização pondere a alocação de recursos necessária para sua aplicação.

Atualmente, o *Big Data* já é usado amplamente por empresas de tecnologia. Coletando as informações sobre os usuários de internet e redes sociais, os algoritmos são capazes de determinar preferências dos usuários e direcioná-los aos conteúdos mais adequados, como notícias ou anúncios de produtos.

A indústria tem um grande potencial para uso do *Big Data*. Nas áreas de processo, é possível criar algoritmos que usam dados de máquinas e processos para determinar qualidade de peças, tendências de comportamento de certos produtos e intervenções necessárias em máquinas. Na parte corporativa, podem auxiliar no desenvolvimento de novos produtos e identificação de tendências de mercado.

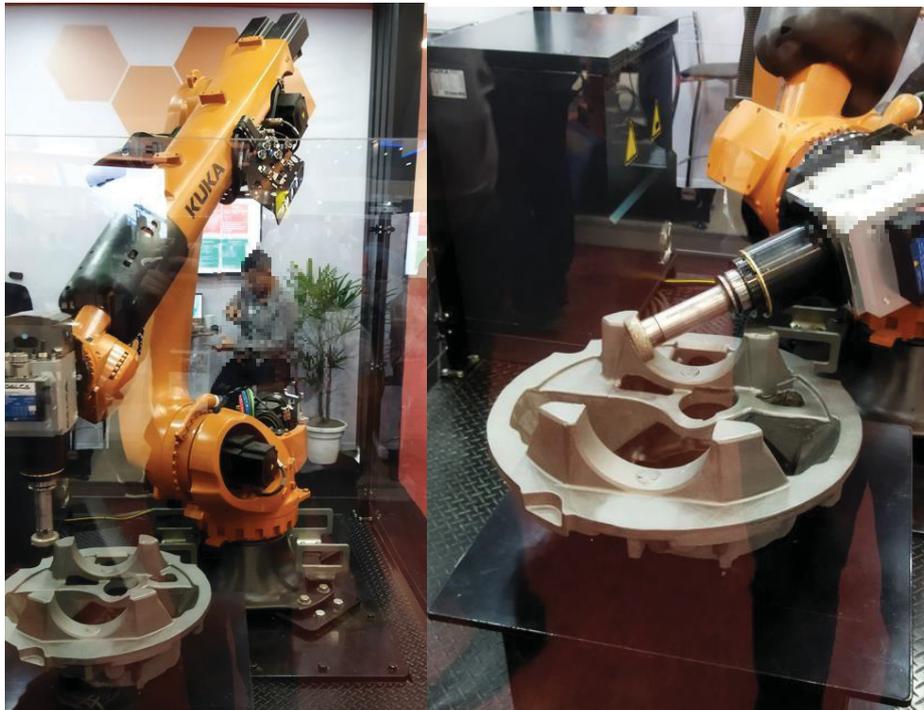
2.2.3.7. *Robótica*

Robôs podem ser considerados como atuadores capazes de realizar trabalho a partir de programas preestabelecidos, com sequência de operações que podem ser utilizadas para fabricação de produtos, transporte de materiais e até procedimento cirúrgicos (ALMEIDA, 2019). Já a robótica é a ciência responsável pelo desenvolvimento de tecnologias presentes em computadores, sistemas, softwares e robôs (URIARTE E GROSZEWICZ, 2022).

A robotização na indústria não é algo novo, ela já é usada desde meados do século XX. Inicialmente seu desenvolvimento foram em tarefas repetitivas, em linhas de produção em que a variedade de materiais era pequena e o volume de produção elevado. Com o passar dos anos e o desenvolvimento de novas tecnologias, os robôs foram ficando mais sofisticados e capazes de executar tarefas mais complexas. Algumas aplicações da robótica atualmente são:

- Montagem;
- Transporte e transferência de matérias;
- Manipulação de materiais;
- Corte e soldagem (Figura 13).

Figura 13 – Braço robótico utilizado para rebarbação de peça fundida



Fonte: Autor, 2022

Na I4.0, a tendência é que cada vez mais os robôs atuem em conjunto com a mão de obra humana, com os chamados robôs colaborativos. Eles realizarão atividades complementares e os robôs estarão adaptados de tal maneira, com sensores e algoritmos inteligentes, que não isso não irá gerar riscos à integridade física do operador ao seu lado.

Outra tendência dessa nova revolução industrial é o uso de veículos autônomos – AGVs (*Automated Guided Vehicle* – Figura 14) para transporte de

materiais. Esses veículos são equipados com câmeras, sensores e algoritmos capazes de habilitar a locomoção deles pela fábrica, interagindo com os elementos a sua volta e até se comunicando entre si e com as máquinas e equipamentos.

Figura 14 – AGV na planta da WEG Equipamentos Elétricos



Fonte: weg.net (2020)

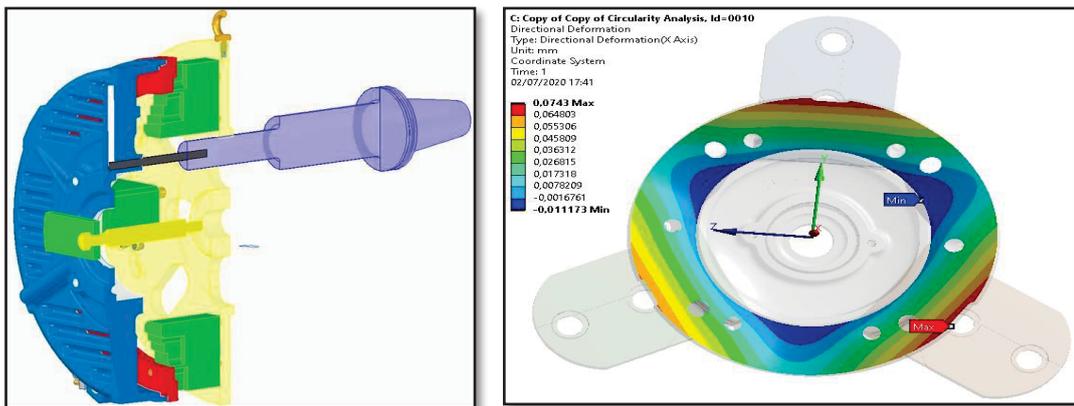
2.2.3.8. Simulações

Simulação pode-se definir como a reprodução da operação de um processo ou sistema real ao longo do tempo, gerando informações que, após analisadas, revelam os resultados esperados para certas características do sistema que está sendo representado (BANKS, 1998). As simulações exigem apoio de softwares e algoritmos, que vem sendo aprimorados dia após dia, logo a sofisticação desses recursos e o poder computacional exigidos para tal são, geralmente, diretamente proporcionais à qualidade das previsões realizadas.

Alguns modelos de simulação bem difundidos na indústria atualmente são:

- simulação de processos, via software CAM (Figura 15);
- simulação de esforços e deformações nos materiais, via software CAE (Figura 15);
- simulação de fluxo produtivo.

Figura 15 – Simulação de acessos (esq.) e deformação de peça (dir.) durante o processo de usinagem



Fonte: Autor, 2022

As simulações já são recursos utilizados há um bom tempo e se desenvolveram mais ainda com a evolução dos computadores. No ambiente da I4.0, as simulações tem um diferencial em reproduzir o sistema real em forma virtual com alto grau de acuracidade e confiabilidade, o que é considerado atualmente como um gêmeo digital ou *digital twin* (ALBERTIN e PONTES, 2021).

Os gêmeos digitais são modelagens dos sistemas reais que irão representar todas as suas funcionalidades, através de softwares e algoritmos de simulação. Quanto maior o número de variáveis consideradas e dados de entradas disponíveis, mais complexo e completo será o modelo. Após calibrados, essas simulações entregam resultados de cenários diversos, auxiliando o chão de fábrica a prever com precisão o que será entregue para cada situação simulada. Uma linha de produção com seu gêmeo digital, por exemplo, poderá prever com exatidão gargalos de produção dependendo do mix de produtos que serão produzidos, quantidade de horas de máquina parada para preparações e até índice de desempenho das máquinas (OEE).

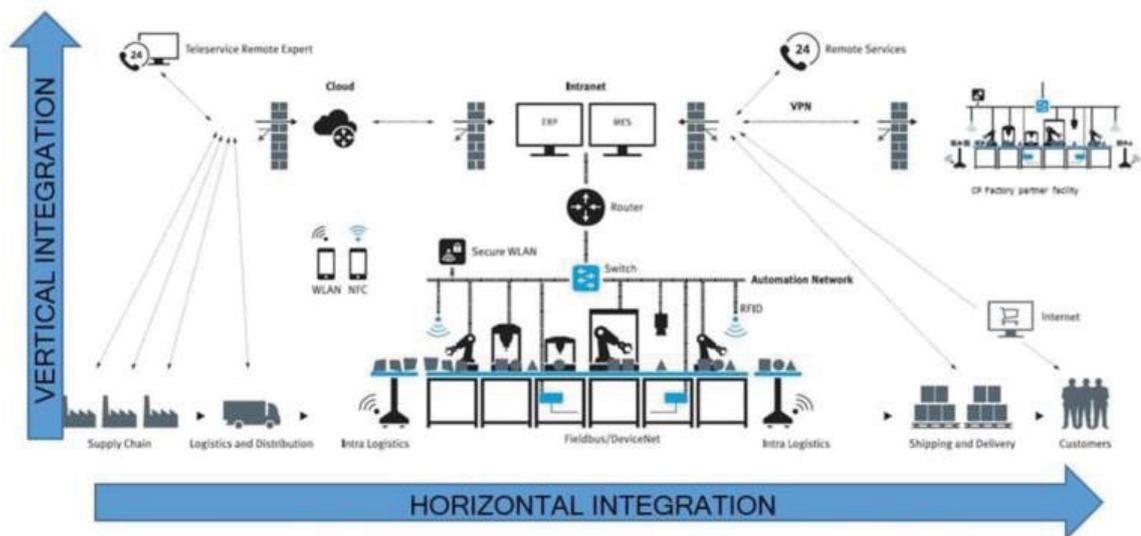
2.2.3.9. Integração de sistemas

A maioria dos sistemas existentes atualmente na vida cotidiana e nas indústrias não são totalmente integrados, são fragmentados, não comunicam entre si e oferecem pouca visibilidade e controle para seu gerenciamento (ALBERTIN e PONTES, 2021). Isso se torna um problema quando se leva em consideração que a tendência é de que máquinas, pessoas e corporações estejam cada vez mais conectadas e operando em conjunto.

Na I4.0, todos os sistemas individuais estarão conectados via IoT, formando uma rede complexa, em que dados e informações são transmitidos de e para todos os sistemas. Logo, além de terem a capacidade de enviar e receber as informações, elas precisam ser processadas rapidamente e mostradas de forma coesa para os usuários. As integrações de sistemas podem ser apresentadas de duas formas (Figura 16):

- Integração horizontal: integração entre os sistemas de TI para apoio e a implementação dos diferentes processos de agregação de valor, como fabricação, logística, vendas, engenharia e serviços, seja dentro ou fora da empresa. Alguns exemplos de integração horizontal: ERP, WMS, CRP, SCM, ECR, CIM e PMS (ALBERTIN e PONTES, 2021).
- Integração vertical: integração entre os sistemas de TI de um sistema de produção. Conforme visto anteriormente, a Pirâmide de automação – ISA95, demonstra como essa integração ocorre desde os equipamentos de base, como sensores e atuadores, até os softwares gerenciais, como MES e ERPs.

Figura 16 – Integração vertical e horizontal



Fonte: <https://www.researchgate.net/>

A integração entre os sistemas das empresas possibilita uma resposta mais rápida e melhor comunicação entre os equipamentos, possibilitando uma descentralização em relação ao processamento de dados, pois não precisam ser compilados, tratados e processados em um computador central. Apesar de estarem todos conectados, o processo em si se torna mais flexível e independente.

2.2.4. NÍVEL DE MATURIDADE PARA INDÚSTRIA 4.0

Atualmente, muitas companhias já estão tendo contato com tecnologias e conceitos da I4.0, algumas já com várias iniciativas a nível de corporação e outras com apenas iniciativas isoladas e projetos pilotos. Essas iniciativas não conseguem demonstrar com acuracidade o potencial completo do que a nova revolução industrial pode trazer de mudanças e benefícios para as empresas, pois não transformam pontos chave dentro da estrutura e cultura da empresa (SCHUH *et al*, 2020).

Para auxiliar as empresas nesse início de processo revolucionário a ACATECH (Academia Nacional de Ciência e Engenharia da Alemanha) desenvolveu uma metodologia (Figura 17) para avaliar o índice de maturidade das empresas em relação à implantação da I4.0 em suas corporações (*Industrie 4.0 Maturity Index*). A partir dos objetivos de cada empresa, do ponto de vista gerencial, e do nível de desenvolvimento interno das tecnologias da I4.0 já utilizadas e com potencial de serem aplicadas, determinar o estágio de desenvolvimento em que a empresa se encontra e prover um caminho passo a passo para atingir esse nível de maturidade de I4.0 ao longo do tempo.

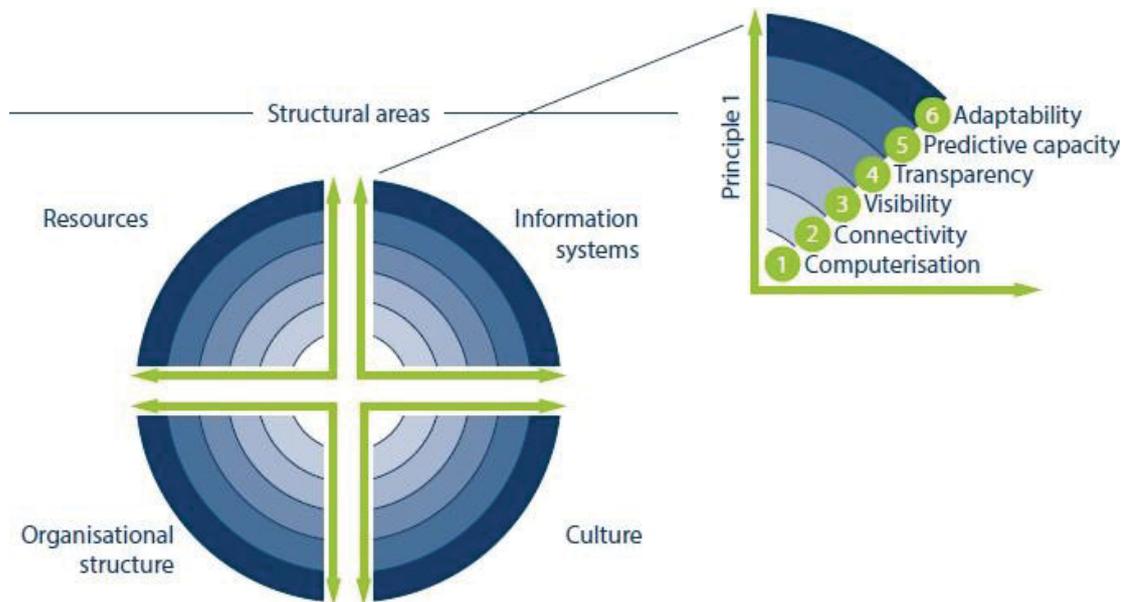
Figura 17 – Metodologia de análise da I4.0



Fonte: SCHUH *et al*, 2020 (adaptado)

O modelo de avaliação das empresas para a I4.0 é baseado na estrutura corporativa pode ser dividido em 4 áreas estruturais, sendo que cada área estrutural é subdividida em 6 níveis de maturidade (Figura 18).

Figura 18 – Modelo de avaliação ACATECH



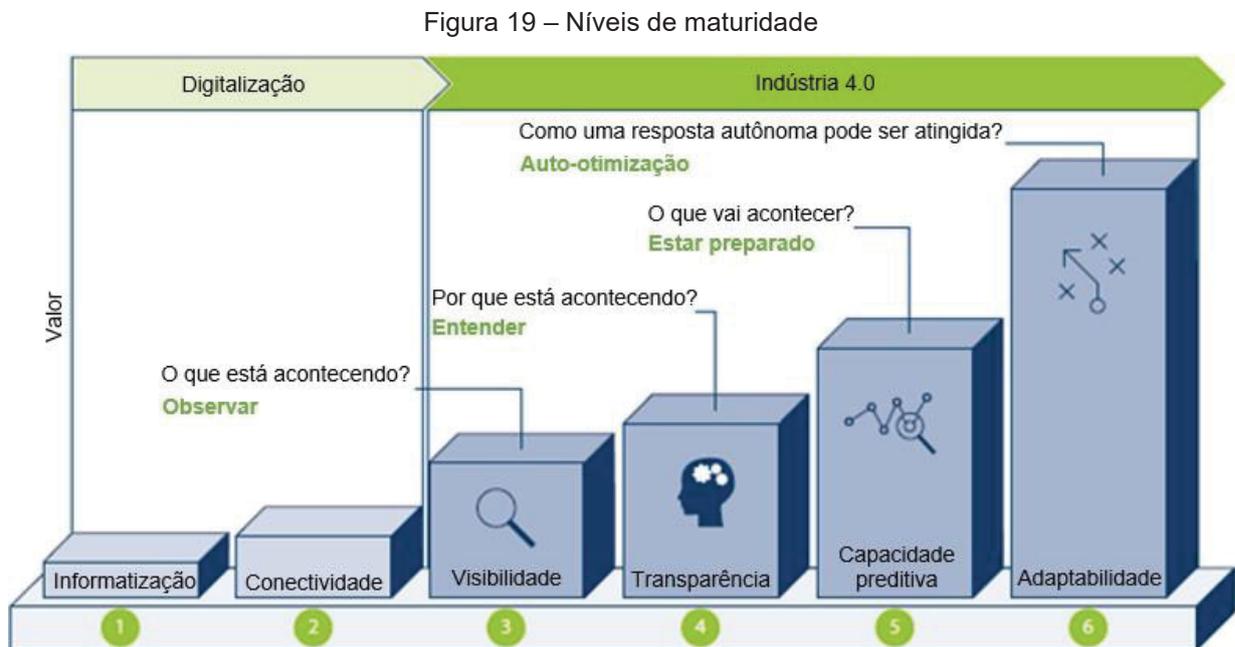
Fonte: SCHUH *et al*, 2020

2.2.4.1. Os 6 níveis de maturidade

Os níveis de maturidades avaliados são, em sequência (Figura 19):

- **Informatização:** o primeiro estágio que promove a base da digitalização da corporação. Atualmente a informatização das empresas é bem difundida, dificilmente as empresas se desenvolvem sem o uso de recursos de informática e processamento de dados em computadores. Pode-se considerar como informatização desde o uso de computadores para funções diárias e repetitivas, máquinas com comando numérico computadorizado (CNC) e softwares (como CAD, CAM e CAE). As empresas neste estágio geralmente são organizações com estruturas tradicionais.
- **Conectividade:** neste segundo estágio, os sistemas já possuem conectividade entre si, trocando dados de forma mais intensa e gerando informações de maneira mais autônoma.
- **Visibilidade:** já entrando nos primeiros estágios da I4.0, no estágio de visibilidade, os dados são coletados e transmitidos em tempo real, mantendo os bancos de dados atualizados para processamento das informações e tomadas de decisões autônomas.

- **Transparência:** o quarto estágio está relacionado ao uso transparente dos dados e a entender o que está acontecendo no chão de fábrica em tempo real. As informações são utilizadas para avaliar modos de falha e relações de causa e efeito.
- **Capacidade preditiva:** com quantidade e qualidade elevada de dados, algoritmos de processamentos podem utilizar os modelos digitais para prever cenários e prevenir problemas.
- **Adaptabilidade:** por fim, no último estágio de maturidade da I4.0, a adaptabilidade está relacionada ao poder de reação em tempo real e de forma autônoma do sistema para os diferentes cenários encontrados no dia a dia. Com os algoritmos com capacidade de prever resultados de eventos com grande exatidão, as respostas autônomas são mais rápidas e assertivas, sem depender da interferência humana.



Fonte: SCHUH *et al*, 2020 (adaptado)

2.2.5. I4.0 e LEAN MANUFACTURING

A ideia central e resumida, do *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta, é uma metodologia que visa reduzir perdas e desperdícios, a fim de otimizar a produção. No LM, o papel da mão de obra humana é fundamental, pois é um processo que envolve mudanças culturais da empresa e de seus indivíduos. Algumas práticas utilizadas no LM são: mapeamento do fluxo de valor (VSM), 5S, gestão visual, kanban, entre outros (PAGLIOSA *et al*, 2019).

Segundo Bonifácio (2020), pode-se considerar que atualmente temos três correntes principais de pensamentos sobre a integração entre LM e I4.0. A primeira acredita que o LM serve como base para a implementação da I4.0 e que é preciso um certo nível de maturidade no LM para implementar essas tecnologias 4.0 com eficiência. Já outra corrente afirma que o LM é uma metodologia ultrapassada e que a I4.0 a deve suprir e superar totalmente no futuro. Por fim, há uma corrente de estudos que enxerga vantagens na aplicação simultânea das metodologias LM e tecnologias da I4.0, que elas se complementam e não são concorrentes.

Levando em consideração os estudos publicados e revisões de literaturas realizadas, a tendência é de que a I4.0 e o LM sejam complementares e que seu desenvolvimento seja simultâneo ou até aplicado em momentos diferentes. Idealmente, as corporações teriam uma cultura forte de LM envolvendo toda a gestão da empresa e colaboradores, que enxergam e atacam perdas e desperdícios de forma sistemática, nesse contexto as tecnologias da I4.0 podem ser utilizadas para amplificar as reduções de desperdícios e aumento de produtividade.

2.3. 5S

O 5S é uma metodologia originada no Japão na década de 1950, após o final da Segunda Guerra Mundial, e foi uma das metodologias criadas que tiveram como objetivo reerguer o parque industrial japonês. O Sistema Toyota de Produção (TPS), ou Toyotismo, foi um dos grandes impulsionadores dessa metodologia, pois foi um sistema reconhecidamente inovador e que trazia vantagens competitivas às companhias. Por conta disso, a metodologia 5S veio a ser conhecida e utilizada amplamente no mundo já no final do século XX.

O termo 5S remete à 5 sentidos ou princípios dessa metodologia (Figura 20): Seiri – Senso de Utilização, Seiton – Senso de Organização, Seisou – Senso de Limpeza, Seiketsu – Senso de Padronização e Shitsuke – Senso de Disciplina. O objetivo dessa metodologia é tornar o ambiente de trabalho organizado de forma ergonômica, prática, limpa e otimizada, mantendo objetos e equipamentos prontos para uso. Com isso, espera-se ganhos de segurança, aumento de produtividade, melhor qualidade do produto e satisfação do colaborador.

Figura 20 – 5 Sentos



Fonte: Autor, 2022

2.3.1. SENSO DE UTILIZAÇÃO (SEIRI)

Na primeira etapa de implantação do 5S, é preciso avaliar a utilização dos equipamentos, recursos, materiais e documentos (Figura 21), é separar aquilo que é necessário do que não é. Avalia-se tanto a utilidade quanto a frequência de uso, fica a critério do avaliador decidir quais os períodos de tempo adequados para cada caso. O objetivo é retirar do posto de trabalho tudo aquilo que não é utilizado, aqueles cuja frequência de uso é baixa devem ser armazenadas fora do posto de trabalho e aquilo que não tem mais utilidade deve ser descartado.

Figura 21 – Senso de Utilização



Fonte: <https://pt.vecteezy.com/>, 2022 (Modificado)

2.3.2. SENSO DE ORGANIZAÇÃO (SEITON)

Na etapa seguinte, é preciso organizar os recursos de acordo com as necessidades (Figura 22). Para isso, é importante identificar as prioridades de uso, categorizar e identificar. Nessa etapa indica-se o uso de padrões de nomenclaturas, etiquetas e até divisórias físicas para organizar o espaço de trabalho de forma fácil e intuitiva. Em uma aplicação prática, envolve-se os colaboradores do posto de trabalho e faz-se uma análise ergonômica e de segurança para as devidas modificações. O objetivo é organizar o posto de trabalho de forma eficaz e segura.

Figura 22 – Senso de Organização



Fonte: <https://pt.vecteezy.com/>, 2022 (Modificado)

2.3.3. SENSO DE LIMPEZA (SEISOU)

A terceira etapa do 5S está relacionada à rotina de limpezas e cuidados do ambiente de trabalho (Figura 23). Não necessariamente relacionado à uma equipe de limpeza, mas sim individualmente à cada colaborador da empresa, sendo cada um responsável pela manutenção do seu local. A empresa precisa criar uma cultura de limpeza e organização, podendo utilizar de paradas programadas para limpeza (todos os dias no início o final de turno, o colaborador desprende 10 minutos do seu horário de trabalho para limpeza do seu posto, por exemplo) e até de auditorias internas. O objetivo desse passo é elevar o nível de limpeza e organização.

Figura 23 – Senso de Limpeza



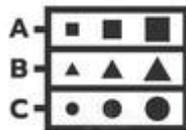
Fonte: <https://pt.vecteezy.com/>, 2022 (Modificado)

2.3.4. SENSO DE PADRONIZAÇÃO (SEIKETSU)

Os três primeiros sentidos citados anteriormente podem ser considerados como a base do 5S, os primeiros passos para uma implantação. Os próximos dois sentidos podem ser considerados como uma etapa de manutenção e consolidação da metodologia.

No sentido de padronização são criadas as normas, regras e padrões que devem ser seguidos para a continuidade do 5S (Figura 24). É importante que essas normas sejam claras, objetivas e bem ilustradas, para não criar burocracia que travem o processo de desenvolvimento da ferramenta.

Figura 24 – Senso de Padronização



Fonte: <https://pt.vecteezy.com/>, 2022 (Modificado)

2.3.5. SENSO DE DISCIPLINA (SHITSUKE)

Por fim, a última etapa do 5S é o sentido de disciplina (Figura 25), manter o programa em funcionamento e crescimento de forma natural, já embutido na cultura da empresa e das pessoas, sem que isso seja considerado um esforço despendido de forma desnecessária. Todos os colaboradores devem estar capacitados para entender e aplicar os passos do 5S, inclusive auxiliando na aplicação em outros centros de trabalho. É importante que as ações de 5S sejam tomadas em todos os níveis organizacionais, desde o chão de fábrica, área corporativa e altas gerências das

empresas. As boas práticas precisam ser retroalimentadas e incentivadas, com o objetivo da melhoria contínua.

Figura 25 – Senso de Disciplina



Fonte: <https://pt.vecteezy.com/>, 2022 (Modificado)

2.3.6. 5S NO CONTEXTO DE INDÚSTRIA 4.0

Conforme discutido anteriormente neste trabalho, as metodologias de LM, incluindo o 5S, servem como base para a implantação das tecnologias da I4.0, sendo possíveis serem implantadas de forma isoladas ou em conjunto. Neste contexto, o 5S pode ser considerado no meio industrial como sendo uma das ferramentas básicas de todas as corporações, pois pode ser aplicada em qualquer contexto e traz benefícios para todas as áreas, seja no chão de fábrica ou no meio corporativo.

Ramadan e Salah (2019) comentam que o 5S tradicional pode ser afetado negativamente pelos novos desafios trazidos pela nova revolução industrial. A falta de mecanismos de monitoramento das ações em tempo real e de forma automatizada e autônoma podem tornar insustentáveis essas práticas. Tendo isso em vista, propõe-se uma transformação da metodologia, o que os autores chamaram de “*Smart-5S*”.

2.3.6.1. *Smart-5S*

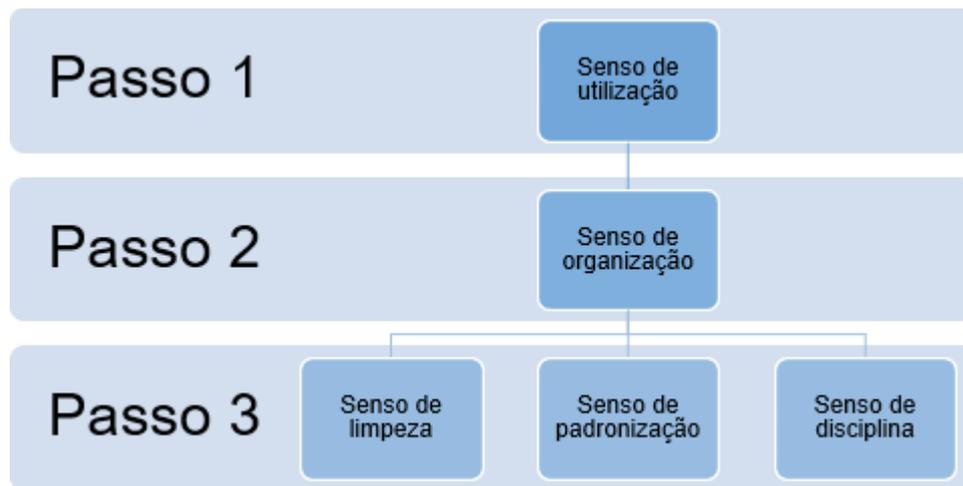
Nessa transformação da metodologia tradicional 5S para uma mais adequada ao modelo de Indústria 4.0, os autores propuseram que as etapas de desenvolvimento sejam divididas em três, e não em cinco como era anteriormente (Figura 26). Sendo elas:

- Senso de utilização: inicia-se similar ao primeiro passo do 5S tradicional, removendo os itens que não são utilizados do posto de trabalho. Após isso, é preciso converter os itens que serão utilizados em *smart-objects*, através do uso de sensores e *tags* RFID, que possibilitarão o rastreamento dos objetos em

tempo real. Os *smart-objects* serão monitorados para determinar em qual estágio do mapeamento digital do fluxo de valor (DVSM) estão sendo utilizados.

- Senso de organização: para a organização dos objetos, os dados de produção e dos *smart-objects* serão cruzados, com o modelo virtual equivalente ao modelo físico (gêmeos digitais), eles serão designados para o local adequado no tempo correto.
- Senso de limpeza, padronização e disciplina: os últimos estágios do 5S estão mais atrelados às ações rotineiras humanas, por isso foram condensadas em um estágio. Nesse último as tecnologias da I4.0 estão mais focadas em monitorar o uso correto dos *smart-objects* e intervir de forma virtual quando encontrar inconsistência, através de mensagens aos operadores e bloqueio de ações.

Figura 26 – Smart-5S



Fonte: Autor, 2022

As tecnologias associadas à I4.0 podem ser utilizadas para melhorar, amplificar e automatizar a metodologia 5S. Algumas oportunidades de implantação das tecnologias são:

- IoT: digitalização e automação das auditorias de 5S através do uso de formulários digitais;
- Gêmeos digitais: Criação de gêmeos digitais para avaliar posições dos equipamentos e dos objetos no layout real;
- *Data analytics*: Uso de análise de dados para determinar quais os equipamentos com maior frequência de uso e quais podem ser retirados do posto de trabalho

ou até mesmo descartados. Pode-se identificar tendências de mix de produtos e antever possíveis de mudanças que gerariam de ganho de produtividade no posto de trabalho;

- Realidade aumentada: Auxiliar o operador a identificar os objetos no posto de trabalho, reduzindo o tempo de procura por ferramentas ou para identificar erros de posicionamento.

2.4. NVAA

Em conjunto a aplicação da metodologia 5S em um posto de trabalho, é desejável avaliar as atividades do operador em relação à agregação de valor das atividades que ele está executando em relação ao produto. Isso se faz importante à medida que essa avaliação possibilita que a empresa enxergue possível pontos de redução de perdas, com atividades desnecessárias e que oneram o operador.

2.4.1. VAA, NVAA E NVAN

Quando uma atividade executada pelo operador agrega valor ao produto, ou seja, transforma esse produto em algo que faça o cliente estar disposto a pagar por ele, diz-se que ele está executando um VAA (*Value added activities*), ou atividades com agregação de valor. São exemplos de VAAs:

- Furar, pintar, soldar, colar, embalar, cortar (Figura 27).

Figura 27 – Pintura de motor elétrico

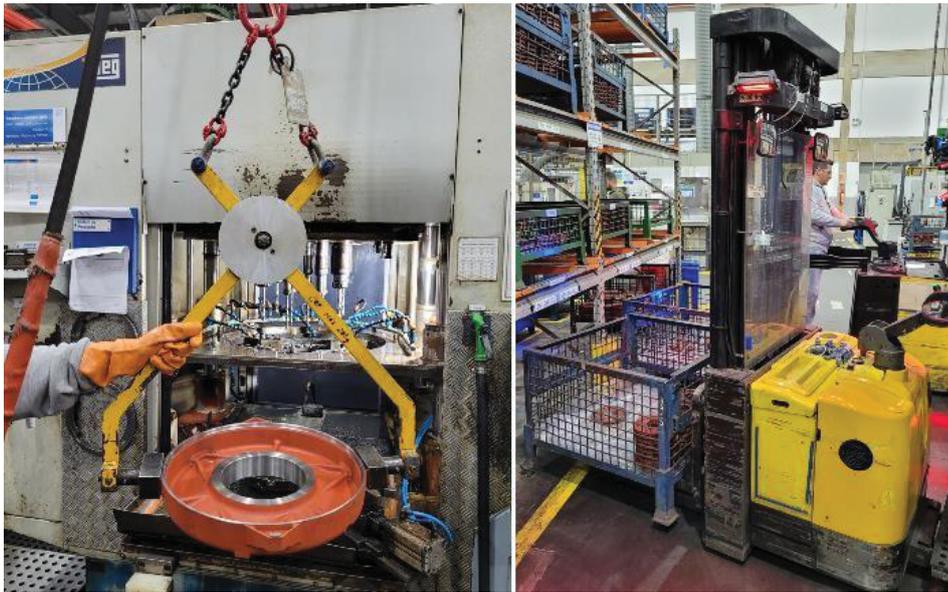


Fonte: Manual interno WEG, 2022

Já quando a atividade executada pelo operador não transforma o produto diretamente, ela é chamada de atividades que não agregam valor, que podem ser classificadas em: NVAA (*Non-Value added activities*) ou NVAA-N (*Non-Value added activities – necessary*), dependendo se essa atividade é necessária ou não para o processo. São exemplos de NVAA:

- Retrabalhar, movimentar, empilhar, procurar, observar (Figura 28).

Figura 28 – Movimentar peças



Fonte: Autor, 2022

As atividades que não agregam valor ao produto, mas são necessárias para garantir que as atividades de agregação de valor foram executadas de forma correta ou que na situação atual do processo não podem ser eliminadas sem prejudicar a qualidade do produto. São exemplos de NVAA-N:

- Posicionar a peça em dispositivo para agregação de valor, segurar a peça durante a VAA, medir, limpar e inspecionar (Figura 29).

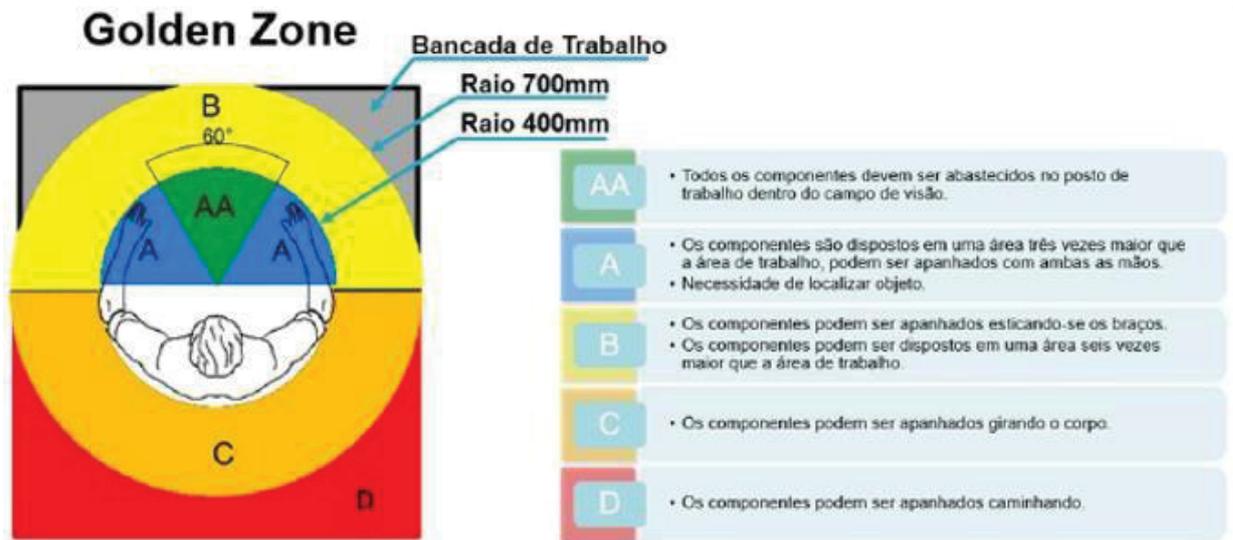
Figura 29 – Posicionar pela em dispositivo (esq.) e medir peça (dir.)



Fonte: Manual interno WEG, 2022

Uma forma de avaliar o NVAA de um posto de trabalho é através de observação ou gravação de vídeo. Escolhendo um ou alguns materiais que representam uma parte considerável do mix de produtos daquele posto de trabalho, as atividades do operador são mapeadas ponto a ponto, anotando o tempo para cada uma ser executada. Após essa observação, cada atividade é classificada quanto à sua agregação, ou não, de valor. Ao final, os tempos para cada classificação são somadas e é possível gerar informações sobre a agregação de valor naquele posto de trabalho. Com isso, também é possível identificar pontos de melhoria que podem impactar em redução de tempo de processo e melhor em ergonomia e segurança (Figura 30).

Figura 31 – Golden zone



Fonte: Manual interno WEG, 2022

Já a *Strike zone* (Figura 32) é a região melhor indicada de alturas para execução de atividades pelo operador, aquela que está mais adequada ergonomicamente. Elas são divididas em três zonas:

- *Strike point (SP)*: região de melhor aproveitamento ergonômico, com produtividade máxima do operador. Região geralmente fica entre 0,9m e 1,2m em relação ao piso.
- *Strike zone (SZ)*: região ainda adequada para a ergonomia, mas já com restrições em relação à carregamento de pesos e manipulação de cargas, e com certa perda de produtividade. Essas regiões ficam geralmente entre 0,7 e 0,9m e entre 1,2 e 1,4m.
- *Não ok (NOK)*: são regiões que oferecem risco ergonômico ao operador, atividades frequentes e de alta intensidade não são recomendadas nessas regiões. Elas ficam abaixo de 0,7m e acima de 1,4m

Figura 32 – *Stike zone*

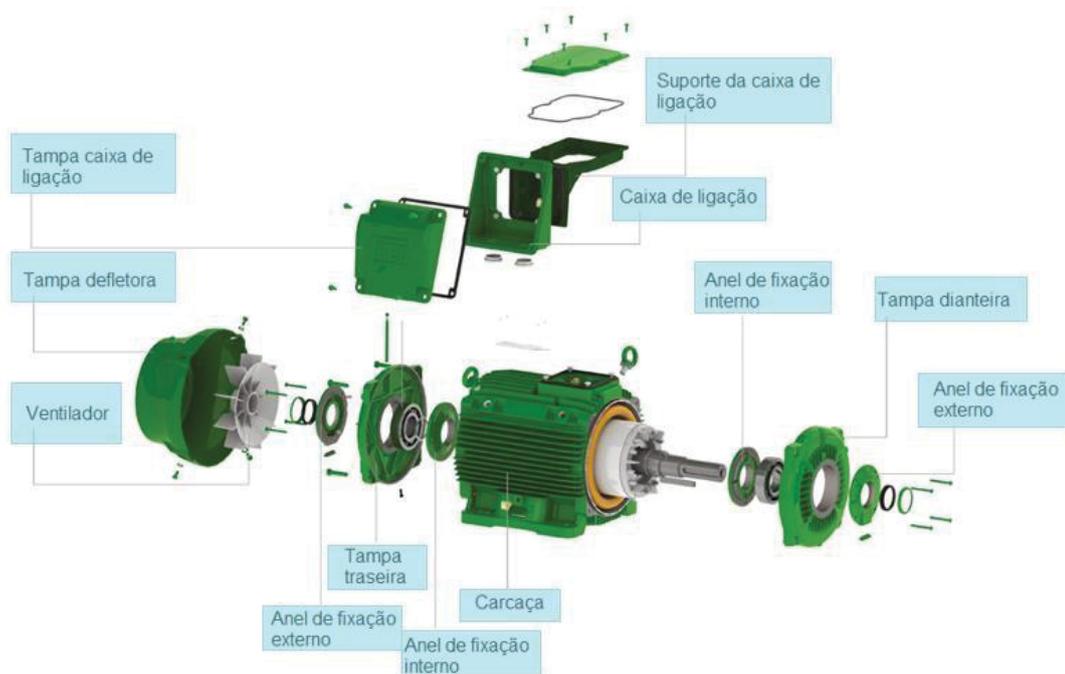
Fonte: Manual interno WEG, 2022

3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo será na empresa WEG Equipamentos Elétricos, mais especificamente no Departamento de Usinagem de Fundidos da divisão de motores elétricos para aplicação industrial. Este departamento é composto por 2 prédios (áreas fabris) responsáveis pela usinagem de componentes em ferro fundido para motores elétricos (Figura 33) e fica localizado em Jaraguá do Sul, SC. São mais de 700 colaboradores diretos distribuídos em 3 turnos de trabalho apenas neste departamento (Tabela 1).

Figura 33 – Componentes usinados em FoFo para motores elétricos



Fonte: Autor, 2022

Tabela 1 – Departamento em números

Número de colaboradores	720
Turnos de trabalho	3
Postos de trabalho	183
Produção diária (componentes)	37.000
Área construída [m²]	16.875
Mix de produtos	26.000

*Referente ao primeiro semestre de 2022

Fonte: Autor, 2022

Atualmente, a WEG como um todo incentiva a implantação e manutenção do 5S em seus departamentos, principalmente nas áreas fabris. Os seus primeiros esforços no 5S iniciaram no ano de 1994, porém foi com a expansão da filosofia de *Lean Manufacturing* e na procura por se tornar uma empresa de classe mundial (WCM), que o programa ganhou maiores proporções e atingiu a empresa em quase todos os níveis.

A empresa conta com manuais, normas e metodologias internas (Figura 34) para implantação e manutenção do 5S nas suas unidades. Por ser uma empresa de grande porte, é compreensível que as áreas estejam em níveis diferentes de maturidade em relação à implantação do 5S.

Figura 34 – 3 etapas de implantação do 5S na WEG



Fonte: Manual interno WEG, 2022

Na Usinagem de Fundidos, pode-se dizer que o 5S já está bem arraigado na cultura dos colaboradores de chão de fábrica e áreas de apoio. O 5S é aplicado nos postos de trabalho com auxílio dos operadores da própria máquina e a área de apoio da fábrica. Desde o primeiro "S" (Senso de Utilização) é o grupo de trabalho que define quais os equipamentos e ferramentas que são utilizados, qual sua frequência de uso e a priorização que deve ser dada para cada um. A análise humana é determinante para a qualidade do 5S aplicado, pois é dependente do levantamento de dados de forma

manual e até da experiência dos operadores de máquina para determinar quais os objetos que devem ser mantidos no posto de trabalho, quais podem ser retirados ou descartados e qual a priorização que deve se dar para cada um desses objetos.

Para acompanhar a evolução da aplicação do 5S nos postos de trabalho, são realizadas auditorias internas via formulários padronizados (Figura 35).

Figura 35 – Formulário de auditoria 5S

FORMULÁRIO DE AUDITORIA 5S			
ÁREA A SER AUDITADA	UNIDADE	DATA	CONSIDERAÇÕES GERAIS
WEG LITORAL NOROCCIDENTAL	WEG LITORAL NOROCCIDENTAL	15/05/2022	1. Excluir "nota 0" para o resultado não entendido ou desnecessário. 2. Excluir "nota 5" para o resultado não aplicável. 3. Caso "N" (nota 0) tenha sido atribuído a algum item dentro do questionário, o mesmo não deve ser considerado na Média Geral.
REMOBILIZAÇÃO	SE EFICIENTE E FAZER MAIS COM MENOS!	NOTA	100%
1.1	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
1.2	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
1.3	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
1.4	As informações (planos, projetos, normas, APDs, indicadores) são utilizadas de forma adequada?	5	
1.5	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
1.6	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
ORGANIZAÇÃO	UM LUGAR PARA CADA COISA, CADA COISA NO SEU LUGAR!	NOTA	93%
2.1	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
2.2	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
2.3	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
2.4	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
2.5	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
2.6	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
CONSERVAÇÃO	MANTER LIMPO E SEM SERVIR OS RECURSOS!	NOTA	100%
3.1	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
3.2	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
3.3	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
3.4	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
3.5	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
3.6	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
PADRONIZAÇÃO	PADRONIZAR AS DOAS PRÁTICAS E MANTER OS PADRÕES ESTABELECIDOS!	NOTA	100%
4.1	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
4.2	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
4.3	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
4.4	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
4.5	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
4.6	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
AUTOCHECKING	PRATICAR OS 5S DIARIAMENTE ATÉ SE TORNAR HÁBITO!	NOTA	87%
5.1	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
5.2	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
5.3	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
5.4	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
5.5	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	
5.6	Os recursos empregados (materiais e humanos) são utilizados de forma adequada?	5	

Pontuação	0%	59,99%	5S não implantado	
	60%	79,99%	5S parcialmente implantado	
	80%	100%	5S implantado	

Fonte: Manual interno WEG, 2022

3.2. SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAIS

Devido ao mix elevado de produtos de produtos, política da empresa, preferências de mercado e atendimento à clientes específicos, a empresa conta com linhas de produto “carro-chefe”, que são motores elétrico com maior volume de produção e usinagens padronizadas e produtos especiais. Com a tendência de customização dos motores para atender exigências dos clientes, há um impacto na fábrica em aumentar a

quantidade de ferramentais necessários para fabricação de materiais especiais e atender às necessidades do cliente. Alguns produtos são mantidos no portfólio da empresa, com certa frequência de produção, e outros são lotes únicos e esporádicos, sem previsão de demandas futuras. De um jeito ou de outro, os ferramentais são mantidos na fábrica para atender à essas demandas especiais de clientes.

Por ser um departamento voltado à usinagem de uma variedade grande de peças, mix de produtos com mais de 26.000 materiais como citado anteriormente, há um grande acúmulo de ferramentais de usinagem nos postos de trabalho e armazenados no estoque, sendo eles: batentes, localizadores, fixadores, anéis, dispositivos especiais, dispositivos de movimentação e ferramentas de corte. Eles variam em tamanho, desde peças pequenas, pouco maior que parafusos, até ferramentais de grande porte, pesando mais de uma tonelada (Figura 36). Esses ferramentais são utilizados em tornos, centros de usinagem, furadeiras e máquinas dedicadas.

Figura 36 – Dispositivo de usinagem de grande porte



Fonte: Autor, 2022

Na atual organização da fábrica, executando o 5S no posto de trabalho, todos os ferramentais e equipamentos que não são utilizados com frequência pelo operador, são retirados do posto de trabalho. Eles podem ser:

- descartados, se estiverem já em mal estado ou sem previsão de utilização (desativação de linha de produto);

- disponibilizados para remanejamento interno, se ainda tiverem utilidades em outras aplicações; ou
- armazenados no estoque para caso seja necessário utilizá-los novamente no futuro.

O armazenamento dos ferramentais que são destinados ao estoque de matérias prima é feito em caixas de madeira, identificadas e catalogadas, conforme figura abaixo (Figura 37). Ferramentais de grande porte são armazenados em pallets específicos e identificados, como mostrado anteriormente na Figura 40.

Figura 37 – Caixas para armazenamento de ferramentais



Fonte: Autor, 2022

Pelo levantamento realizado *in loco*, apenas em um dos prédios da Usinagem de Fundidos, haviam 66 caixas e pallets para armazenamento de ferramentais, totalizando mais de 2.500 ferramentais que estão sendo armazenados no estoque de materiais. Mesmo contando com um número grande de máquinas e mix variado de peças, a quantidade de ferramentais armazenados é grande. Por atualmente não contar com uma sistemática bem definida para identificar a utilidade desses ferramentais ou até mesmo frequência de uso, o remanejamento ou descarte de ferramentais guardados no estoque depende da proatividade de alguém que faça essa pesquisa manualmente e faça a distinção entre aquilo que precisa continuar sendo armazenado e aquilo que pode ser descartado da fábrica.

3.2.1. ORDENS DE PRODUÇÃO

As ordens de produção (OP) são documentos gerados pela área de Planejamento e controle da produção (PCP), com as informações necessárias para gerenciamento da produção no chão de fábrica e para auxiliar os operadores da máquina a executar o trabalho (Figura 38). Essas informações são as definições de processo geradas pela área de Engenharia de Processos.

Alguns elementos principais presentes nas OPs são:

1. Material e descrição;
2. Quantidade de peças para o lote;
3. Data de início e fim da execução (planejado);
4. Máquinas/postos de trabalho em que as operações serão realizadas;
5. Tempos de execução: preparação + operação;
6. Ferramentais e configurações das máquinas necessárias para executar o trabalho;

Figura 38 – Ordem de produção

ORDEM DE PRODUÇÃO IME1		Início 05.09.2022	Quantidade 1 UN	Material OP original	Data Impr	Empresa DYNÁMIO
		Término 05.09.2022	Populoso 111			Unidade PSE1100
		Vencimento 05.09.2022	Planejador 19			Página 1 de 3
MATERIAL	ANEL INTERM	Documento 10001302295_2MO_000_07	Material Antigo	Sequenciamento	EXP: N30	Material 11712436
Operação (1400)	TORNEAR COMPLETO	Centro Trabalho 0108	Recursos 1,00	Marco PSM	PC/B 12,456	
Ordem/Operação	Peso Bruto	Peso Líquido	SET. MÁQ.	SET. BOM.	EXEC. MÁQ.	EXEC. BOM.
			OP	000:13:00	000:04:49	
Texto da ordem			PC	000:13:00	000:04:49	
Documentos						
Componentes da Lista Técnica						
1	0010	ANEL INTERM	1	UN		
Resumo da Ordem de Produção						
Operação	Centro Trabalho	Início	Descrição da Operação	EXEC. MÁQ.	EXEC. BOM.	Recursos
0001	01081	05.09.2022	DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS			1,00
1400	01081	05.09.2022	TORNEAR COMPLETO			1,00
PARÂMETROS DE PROCESSOS E MÁQUINAS						
PLACA 1						
Código da ferramenta	Descrição					
R48	CASTANHA BASE					
R51	CASTANHA					
R59						
Parâmetros de processo	Complemento	Limite inferior	Valor nominal	Limite superior	U.M.	
OPERAÇÃO	TORNEAR 1º LADO					
POSIÇÃO CASTANHA BASE						
POSIÇÃO DA CASTANHA						
CONDIÇÕES DE USINAGEM CONFORME NORMA						
SUPOORTE E INSERTO CONFORME NORMA						
PERFURAÇÃO DA PLACA			7,000			MPa
OBSERVAÇÃO						
PLACA 2						
Código da ferramenta	Descrição					
R48	CASTANHA BASE					
R51	CASTANHA					
R59						
Parâmetros de processo	Complemento	Limite inferior	Valor nominal	Limite superior	U.M.	
OPERAÇÃO	TORNEAR 2º LADO					
POSIÇÃO CASTANHA BASE						
POSIÇÃO DA CASTANHA						
CONDIÇÕES DE USINAGEM CONFORME NORMA						
SUPOORTE E INSERTO CONFORME NORMA						
PERFURAÇÃO DA PLACA			7,000			MPa
OBSERVAÇÃO						

A área de Engenharia de Processos é responsável por definir o processo de usinagem e disponibilizar as informações para execução das tarefas. São descritos no campo texto quais os dispositivos de movimentação, localizadores, batentes, anéis localizadores e outros acessórios definidos para cada processo em específico. Atualmente essas descrições são feitas de duas maneiras:

- Manualmente: as descrições são organizadas em planilhas e as informações para cada produto são inseridas como texto no campo de comentários da OP individualmente;
- Via MAP (Meio Auxiliar de Produção): as descrições são organizadas diretamente no sistema, de forma padronizada, e as informações são dispostas no campo de comentários em forma de tabela.

Para melhorar o entendimento das explicações e propostas, neste trabalho serão mencionados como “Ferramentais”, todos aqueles objetos utilizados como acessórios para as máquinas de usinagem que são usados para localização e fixação de peças (localizadores, batentes, anéis escalonados, guias, entre outros acessórios). “Dispositivos de movimentação” são equipamentos específicos auxiliares para movimentação e elevação de cargas. Por fim, “Instrumentos de medição” são os equipamentos utilizados para conferência de medidas das peças, como paquímetros, micrômetros, súbitos e PNPs (Passa-Não passa).

Conforme organização interna, esses objetos tem sua nomenclatura conforme abaixo:

- Ferramentais e dispositivos de movimentação: a letra “F” seguida de 7 algarismos, podendo ser 7 números consecutivos, para ferramentais individuais, ou 4 números + letra “N”, “S” ou “A” + 2 números, para indicar que aquele ferramental ou dispositivo de movimentação é uma montagem composta por mais de um ferramental individual. Por exemplo: “F1234567” (batente localizador) ou “F4321N01” (conjunto de castanhas 6 pontos);
- Instrumentos de medição: conjunto de 5 algarismos, acompanhado do selo de calibração dos mesmos, por exemplo: “54321” (paquímetro universal).

3.2.2. SISTEMÁTICA VIA MAP

As principais vantagens em utilizar a sistemática MAP em relação ao campo texto convencional são:

- Menor possibilidade de erro de digitação ou de interpretação. Visto que o processo é definido pela Engenharia de Processos, mas o responsável por inserir essas informações é a área de Métodos e Tempos;
- Possibilidade de alteração em massa de características de ferramentais. Por exemplo, um caso em que todos os materiais de uma família de peça utilizarão um novo dispositivo de movimentação por questões de segurança, pelo método antigo essa alteração manual teria que ser feito material a material, mas com o sistema MAP é possível fazer a alteração automaticamente em poucos passos;
- Agrupar ferramentais e materiais por características de materiais e ferramentais utilizados;
- Visualizar todos os materiais atrelados ao ferramental (Figura 39). No exemplo abaixo uma castanha de torno com vários materiais atrelados.

Figura 39 – Materiais atrelados a um ferramental

Lista de utilizações: síntese							
Selecionar		Detalhe		Log			
Equipam. 20097509			Flanagem CASTANHA				
Cen.	Material	Vál.desde	Cliente	Fornecedor			
T Cen.	GrpLisTar.	NG	Vál.desde	Status Util	GrPl	TxtBrv.LstTaref.	
Operação		Vál.desde	Válido até	Ctrl	ChvMode		
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601100	41	26.02.2020	4	1	077 TAMPA FLANG 280/315
	Seq.	0		01.10.2007			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601100	58	26.02.2020	4	1	077 TAMPA FLANG 280/315
	Seq.	0		01.10.2007			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601100	59	26.02.2020	4	1	077 TAMPA FLANG 280/315
	Seq.	0		01.10.2007			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601105	70	10.03.2021	1	1	077 TAMPA FLANG 225/250
	Seq.	0		07.07.2008			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601107	66	26.02.2020	4	1	077 TAMPA FLANG 315
	Seq.	0		26.11.2008			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601107	74	26.02.2020	4	1	077 TAMPA FLANG 315
	Seq.	0		27.11.2008			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601108	16	26.02.2020	4	1	077 TAMPA FLANG 225
	Seq.	0		04.03.2009			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601110	59	01.11.2017	4	1	077 TAMPA FLANG 225
	Seq.	0		21.01.2010			
<input type="checkbox"/>	N 1100	10601110	77	04.03.2010	4	1	077 TAMPA FLANG 364/5
	Seq.	0		04.03.2010			

Fonte: Autor, 2022

3.2.2.1. Plano de manutenção

Os ferramentais, os dispositivos de movimentação e os instrumentos de medição cadastrados no sistema MAP podem ser agregados a um plano de manutenção baseado na utilização dos mesmos. Essa funcionalidade utiliza um contador de peças e ordens produzidas, atrelando as ordens do centro de trabalho (CT) ao ferramental cadastrado no MAP (Figura 40). Ou seja, quando o material é programado e produzido no centro de trabalho, todos os objetos com plano de manutenção atrelados a esse material terão a sua contagem contabilizada, podendo ser uma contagem individualizada, por peça, ou por lote de produção, dependendo da natureza de uso do objeto. Se for um ferramental que é utilizada apenas na preparação do lote, faz sentido a contagem por lotes de peças, já pensando em um dispositivo de movimentação que será utilizado em todas as peças, faz mais sentido a contagem via quantidade de peças.

Figura 40 – Contador de peças dentro do plano de manutenção do ferramental

Exibir docs.medição: lista de documentos de medição

Documento de medição Ponto de medição

ID	Ponto med.	Data	Equipamento	Denominação do ponto medição	VMed/PTCon	Diferença	Texto	Posição de medição	Criado por	Hora
148358		13.10.2022	20138834	CICLO 201	215	1		CICLO	PIM	06:46:40
148358		11.10.2022	20138834	CICLO 201	214	1		CICLO	PIM	15:00:05
148358			20138834	CICLO 201	213	1		CICLO	PIM	14:27:47
148358		10.10.2022	20138834	CICLO 201	212	1		CICLO	PIM	06:13:15
148358		06.10.2022	20138834	CICLO 201	211	1		CICLO	PIM	22:18:36
148358			20138834	CICLO 201	210	1		CICLO	PIM	17:50:34
148358		05.10.2022	20138834	CICLO 201	209	2		CICLO	PIM	15:44:39
148358			20138834	CICLO 201	208	1		CICLO	PIM	14:54:39
148358		04.10.2022	20138834	CICLO 201	207	4		CICLO	PIM	15:52:33
148358			20138834	CICLO 201	206	5		CICLO	PIM	13:56:33
148358		03.10.2022	20138834	CICLO 201	205	1		CICLO	PIM	10:54:15
148358		30.09.2022	20138834	CICLO 201	204	5		CICLO	PIM	17:52:36
148358			20138834	CICLO 201	203	2		CICLO	PIM	16:02:36
148358		29.09.2022	20138834	CICLO 201	191	2		CICLO	PIM	21:38:35
148358		28.09.2022	20138834	CICLO 201	189	3		CICLO	PIM	01:48:33
148358		26.09.2022	20138834	CICLO 201	186	5		CICLO	PIM	11:20:51
148358		23.09.2022	20138834	CICLO 201	181	1		CICLO	PIM	16:50:34
148358		20.09.2022	20138834	CICLO 201	179	2		CICLO	PIM	22:52:53
148358		19.09.2022	20138834	CICLO 201	174	3		CICLO	PIM	14:18:41
148358		16.09.2022	20138834	CICLO 201	169	2		CICLO	PIM	15:18:34
148358		15.09.2022	20138834	CICLO 201	169	1		CICLO	PIM	06:50:52
148358			20138834	CICLO 201	168	1		CICLO	PIM	06:24:52
148358			20138834	CICLO 201	167	2		CICLO	PIM	06:00:52
148358		06.09.2022	20138834	CICLO 201	165	3		CICLO	PIM	21:36:34
148358			20138834	CICLO 201	162	1		CICLO	PIM	20:36:33
148358		05.09.2022	20138834	CICLO 201	161	1		CICLO	PIM	14:54:54
148358			20138834	CICLO 201	160	2		CICLO	PIM	14:04:17
148358			20138834	CICLO 201	158	1		CICLO	PIM	13:20:15
148358		02.09.2022	20138834	CICLO 201	157	7		CICLO	PIM	13:23:00
148358			20138834	CICLO 201	150	1		CICLO	PIM	09:59:03
148358		30.08.2022	20138834	CICLO 201	149	2		CICLO	PIM	19:10:26
148358		29.08.2022	20138834	CICLO 201	147	1		CICLO	PIM	13:53:01
148358		26.08.2022	20138834	CICLO 201	146	1		CICLO	PIM	21:54:35
148358		25.08.2022	20138834	CICLO 201	145	4		CICLO	PIM	13:52:42
148358		24.08.2022	20138834	CICLO 201	145	2		CICLO	PIM	10:46:59
148358			20138834	CICLO 201	139	1		CICLO	PIM	09:52:59
148358		22.08.2022	20138834	CICLO 201	138	2		CICLO	PIM	22:12:33
148358		19.08.2022	20138834	CICLO 201	136	2		CICLO	PIM	06:34:35
148358		18.08.2022	20138834	CICLO 201	134	3		CICLO	PIM	22:34:37
148358			20138834	CICLO 201	131	1		CICLO	PIM	21:14:38
148358		17.08.2022	20138834	CICLO 201	130	2		CICLO	PIM	12:22:35
148358		16.08.2022	20138834	CICLO 201	128	1		CICLO	PIM	10:38:35
148358		09.08.2022	20138834	CICLO 201	127	1		CICLO	PIM	11:56:36
148358		08.08.2022	20138834	CICLO 201	127	1		CICLO	PIM	20:44:38

Fonte: Autor, 2022

Para cada ordem de produção de materiais atrelada ao ferramental, uma linha no plano de manutenção é criada com a quantidade de ciclos realizados. Se o ciclo foi configurado para ser por quantidade de peças, será somado a quantidade de peças das OPs, se o ciclo foi configurado por OP, para cada OP na fábrica será somado mais um na coluna “Diferença”. O plano de manutenção também mantém o histórico de uso, então é possível avaliar em quais dias foi utilizado e com qual frequência.

No plano de manutenção, é possível utilizar um contador de ciclos com função de limitar a quantidade de utilização do mesmo, para caso de final de vida útil, ou para determinar uma intervenção da área técnica. Por exemplo, um ferramental que sofre esforços mecânicos constantes e pode romper por fadiga, ou algum ferramental que precisa garantir certas tolerâncias que vão se perdendo ao longo do tempo de uso, eles podem ter um tempo de ciclo estimado para uma intervenção da área técnica, para lubrificação, verificação e/ou troca de componentes. No exemplo abaixo (Figura 41), o ferramental foi limitado em 290 ciclos/unidade, sendo o ciclo definido por número de peças produzidas, então ao completar 290 peças produzidas, será gerado uma medida automática para o responsável da área fazer a manutenção preventiva desse equipamento.

Figura 41 – Contador de ciclos

The screenshot displays a software interface for configuring maintenance cycles. At the top, the 'Plano manutenção' is identified as '800031.1.0338.L PM - F2 CHAPELONA'. Below this, there are tabs for 'Ciclos plano de manutenção', 'Parâmetro programação plano manutenção', and 'Dados adicionais plano de ma...'. The main configuration area includes a table with the following entries:

Ciclo/unidade	290 UN
Texto para ciclo	
Offset/unidade	0 UN

Below the table, the 'Contador' field shows the value '148358' and the label 'CICLO 20138834'. At the bottom, the 'Item' section shows 'Item manutenção' as '136344' and 'PM - F2 CHAPELONA'.

Fonte: Autor, 2022

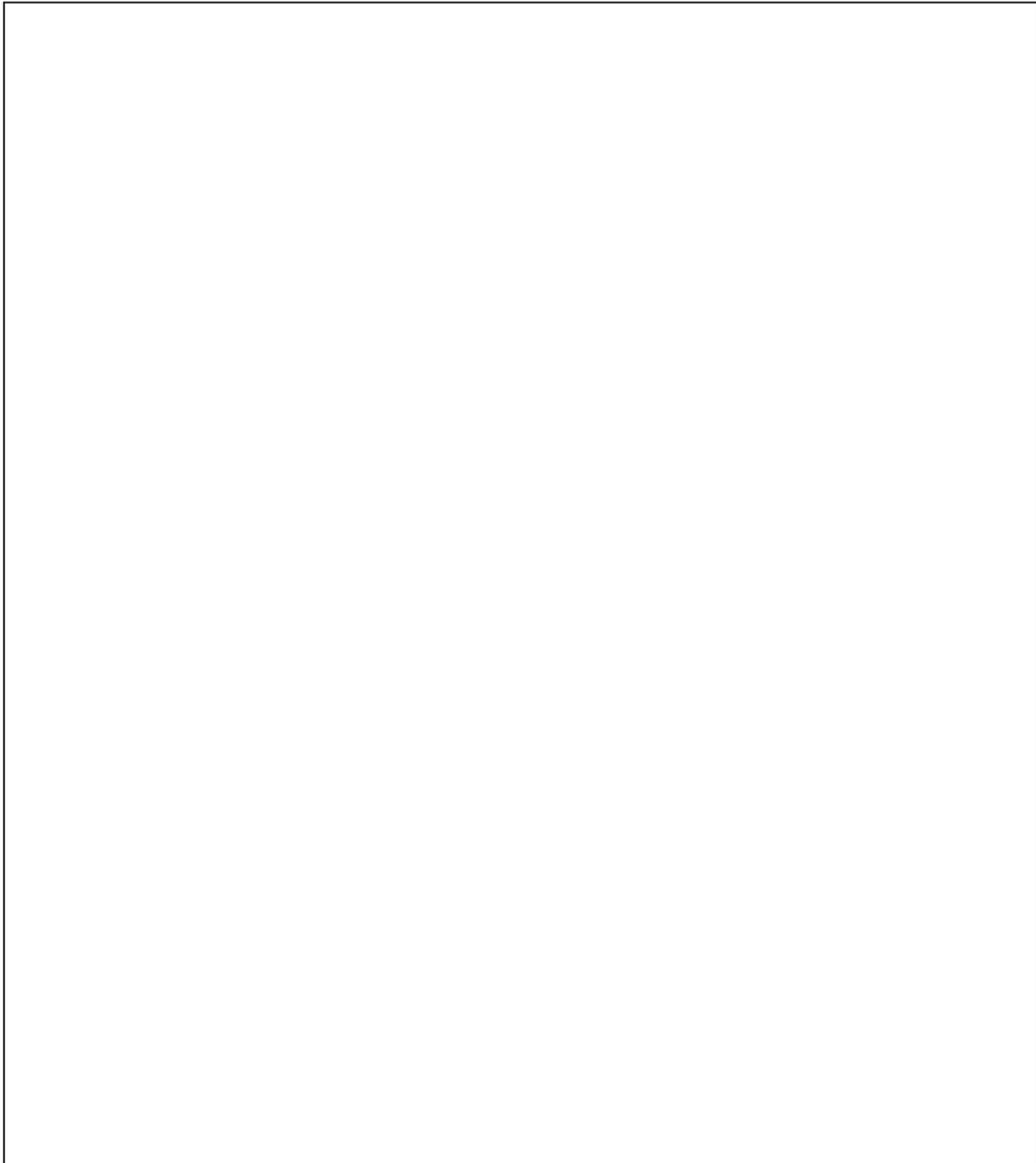
Além desses marcadores, quando um ferramental atrelado a um material tem o seu plano de manutenção implantado, é possível avaliar o seu histórico de utilização: frequência de uso, em quantos postos de trabalho utilizam esse mesmo objeto e até mesmo quando foi a última vez em que foi utilizado. Com tudo isso, o plano de manutenção de um objeto pode oferecer recursos além de um controle de manutenção preventiva de objetos.

3.2.3. 1S – SENSO DE UTILIZAÇÃO

Se todos os roteiros da fábrica, para todos os materiais e em todos os postos de trabalho, estão implantados com o MAP e os ferramentais, instrumentos de medição e dispositivos de movimentação estão com seu plano de manutenção descrito, é possível determinar com exatidão qual a frequência de uso de cada um. Tendo isso em mente, é possível utilizar essa sistemática para determinar quais objetos estão sendo utilizados com frequência e quais não estão sendo utilizados e quando foi a sua última utilização.

Levando em consideração o primeiro passo da metodologia 5S, o senso de utilização, em que os materiais que não são necessários devem ser guardados fora do posto de trabalho ou até mesmo descartados, é possível utilizar o plano de manutenção dos objetos dentro do sistema MAP para determinar a frequência de uso dos ferramentais. Aqueles em que a frequência de uso está abaixo do estipulado pelo usuário (linha de corte), serão armazenados fora do posto de trabalho. Para aqueles ferramentais em que a frequência de uso é muito baixa e/ou não há mais roteiros de materiais ativos atrelados a ele, pode-se avaliar o seu descarte. A sequência de eventos segue conforme esquemático abaixo (Figura 42).

Figura 42 – Senso de utilização via plano de manutenção (MAP)



Fonte: Autor, 2022

Ao ser gerada a ordem de produção, os ferramentais atrelados ao MAP terão adicionados ao seu contador a quantidade de materiais que foram gerados para essa ordem e a data de utilização será atualizada. Para manter uma base de dados atualizada, coerente com as alterações no mix de materiais que ocorre na programação da fábrica, o contador estará atualizado conforme o uso dos últimos 12 meses, não sendo um contador absoluto desde o início da implantação. Essa atualização por período é importante para evitar que ferramentais que eram utilizados em materiais que

foram desativados, mas tinham certa demanda no passado, continuam aparecendo como relevantes.

Os ferramentais com frequência de uso serão mantidos no posto de trabalho e os outros irão passar por uma segunda análise. Aqueles em que ainda há utilização, porém com frequência muito baixa, serão indicados para armazenamento no estoque de ferramentais, organizados e classificados, conforme comentado anteriormente.

Para ferramentais sem frequência de uso nos últimos 12 meses, será avaliado se ainda há materiais com roteiros ativos atrelados a esse ferramental e gerado uma sequência interna de avaliações envolvendo engenharia de processos, setor de vendas e chefes da fábrica, que devem na sequência determinar qual será o destino dado para cada ferramental (Tabela 2).

Tabela 2 – Reclamação interna para ferramentais

Seq.	Responsável	Atividades	Saída
1	Engenharia de Processos	Avaliar os materiais atrelados ao ferramental e quando foi sua última utilização. Avaliar se é possível utilizar ferramentais alternativos para produção destes materiais.	Recomendar manter ou descartar o ferramental
2	Vendas	Avaliar demandas futuras dos materiais ativos atrelados a esse ferramental.	Informar demanda futura
3	Chefe da seção	Avaliar respostas anteriores e determinar o descarte ou armazenamento do ferramental	Comunicar decisão
4	Engenharia de Processos	Decidido por descartar o ferramental, eliminar roteiros de materiais atrelados ao MAP do ferramental	Evitar programação dos materiais sem ferramental
5	Vendas	Decidido por descartar o ferramental, bloquear vendas diretas (sem consulta) dos materiais atrelados ao ferramental	Evitar venda dos materiais sem ferramental para produção
6	Vendas	Informar outras áreas de componentes e montadoras sobre bloqueio do material	Alinhamento de informações entre áreas da empresa

Fonte: Autor, 2022

Apesar de ainda ser dependente de uma avaliação humana para determinar se os ferramentais devem ser armazenados ou descartados, essa sistemática possibilita uma avaliação constante do estoque, sem acúmulo de tarefas ou necessidade de

proatividade por partes dos colaboradores. Ferramentais que não tem utilidade devem ser constantemente reavaliados para que não ocupem espaço desnecessariamente.

3.3. SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO DO POSTO DE TRABALHO

De maneira similar ao discutido anteriormente, para melhorar e automatizar os primeiros passos da aplicação e manutenção do 5S em um posto de trabalho, é possível utilizar recursos disponíveis no sistema de dados utilizado atualmente na empresa. O sistema MAP e a implantação do plano de manutenção para os objetos utilizados nos postos de trabalho é premissa para o projeto.

3.2.1. ETAPA 1 – SENSO DE UTILIZAÇÃO

Conforme comentado anteriormente, o senso de utilização está relacionado a selecionar quais objetos são utilizados no posto de trabalho e quais não. Segregar tudo aquilo que não tem utilidade e ocupa espaço no local de trabalho.

Tendo a implantação completa dos planos de manutenção de todos os ferramentais utilizados no posto de trabalho, além de atrelar eles de forma correta nas ordens de produção. A segregação dos ferramentais que devem ser mantidos no posto de trabalho é tida através da avaliação do MAP (Figura 43).

Figura 43 – Ferramentais mantidos no posto de trabalho

	FERRAMENTAL	CONTADOR	DATA USO	MATERIAIS*
FREQUÊNCIA ALTA DE USO: MANTER NO POSTO DE TRABALHO	F1...	N1	DD/MM/AA	Q1
	F2...	N2	DD/MM/AA	Q2
	F3...	N3	DD/MM/AA	Q3
	F4...	N4	DD/MM/AA	Q4
	F5...	N5	DD/MM/AA	Q5
	F6...	N6	DD/MM/AA	Q6
	F7...	N7	DD/MM/AA	Q7
	F8...	N8	DD/MM/AA	Q8
	F9...	N9	DD/MM/AA	Q9
	F10...	N10	DD/MM/AA	Q10
	F11...		DD/MM/AA	
	F12...		DD/MM/AA	

Linha de corte

*Quantidade de materias com roteiros atrelados à esse ferramental

Com essa avaliação, os ferramentais com maior frequência de uso, conseqüente necessidade de estar próximo do local de uso, já foram definidos e ordenados. Dependendo da situação do posto de trabalho, como espaço disponível para armazenamento ou até mesmo o próprio tamanho dos ferramentais, a linha de corte pode ser variada, não tendo um padrão global, mas sim uma orientação geral que pode ser personalizada para cada caso.

A avaliação de frequência de uso é dinâmica e varia ao longo do tempo, acompanhando o mix de produção. Com isso, a avaliação do 5S também será algo mais dinâmico, tendo maior quantidade de intervenções

3.2.2. ETAPA 2 – SENSO DE ORGANIZAÇÃO

Para o segundo senso, de organização, é preciso organizar os recursos de acordo com as necessidades. Para isso, é necessário identificar as prioridades de uso, categorizar e identificar os ferramentais. Como mostrado anteriormente na Figura 47, a informação mostrada pelo sistema já estará com a priorização feita em relação ao contador de peças, com isso, aqueles ferramentais com maior frequência de uso estão no topo da lista e os menos usados mais para o final. Essas informações servirão como direcionadores para a equipe que está aplicando o senso de organização em um posto de trabalho, pois tem clareza em quais devem se as prioridades.

Para melhorar o ambiente de trabalho e otimizar as operações dos colaboradores, é necessário levar em consideração as condições ideais de trabalho, colocando os materiais em locais de fácil acesso, respeitando ao máximo as orientações de *Golden* e *Stike Zone*. Esses conceitos que foram explanados no capítulo anterior, têm como objetivo promover maior eficiência no dia a dia do operador, relacionando os locais do posto de trabalho em que os esforços são reduzidos e há maior agilidade para executar as tarefas.

Levando em consideração um posto de trabalho composto por máquina de usinagem, bancada de trabalho, estação de medição, grades de materiais e armários de ferramentais, é difícil armazenar todos os objetos e ferramentais em locais ideais do ponto de vista de *Golden* e *Stike Zone*. O que se deve fazer é utilizar a lista de prioridades geradas através o MAP de ferramentais e priorizar estes nos locais ótimos para o trabalho. Então apesar de terem ferramentais fora das áreas ideais de trabalho, estes serão menos significativos e os tempos de NVAA e NVAA-N são minimizados.

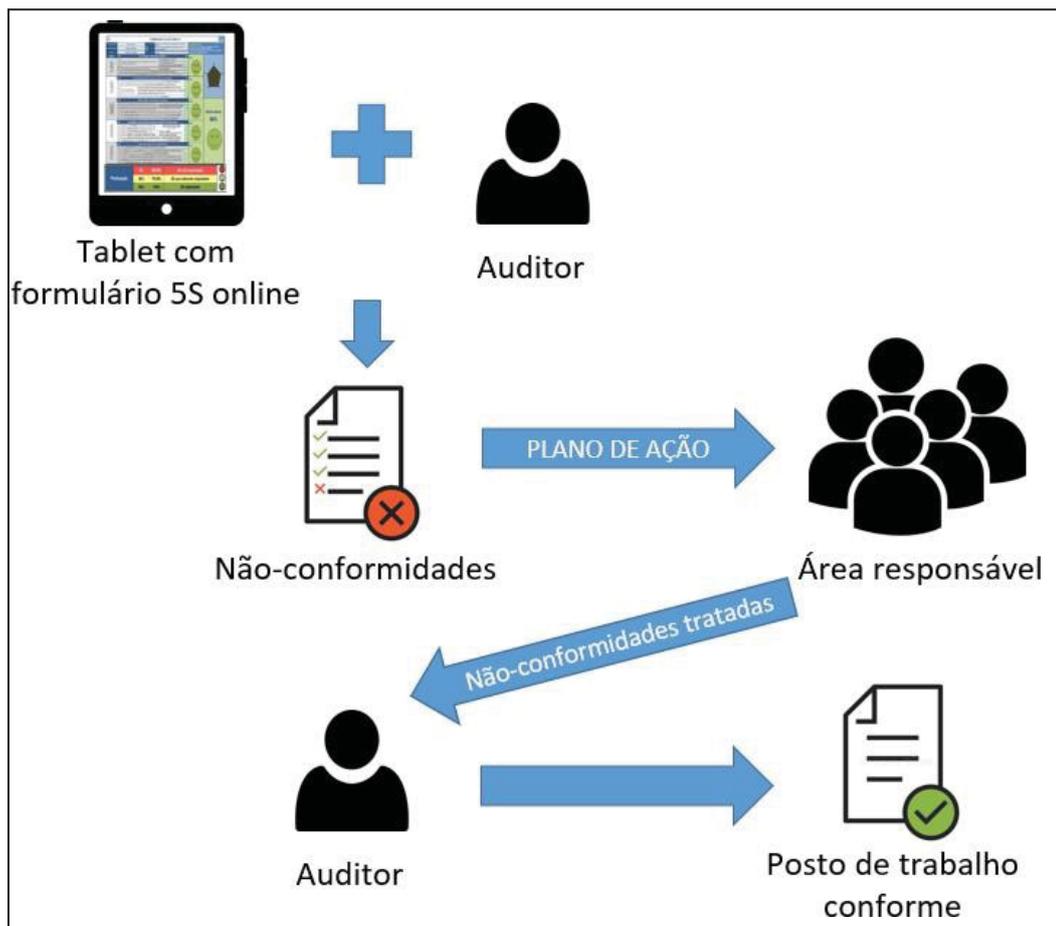
3.2.3. ETAPA 3 – SENSOS DE LIMPEZA, PADRONIZAÇÃO E DISCIPLINA

Como comentado anteriormente sobre o Smart-5S, devido à natureza da filosofia 5S, por estar bem relacionado ao comportamento dos colaboradores e depender dessa mentalidade bem arraigada em todos, os 3 últimos sentidos, de limpeza, padronização e disciplina devem ser abordados em conjunto. Neste contexto, uma das formas de garantia do cumprimento dessas etapas são as auditorias.

As auditorias são vistorias regulares realizadas por pessoas com treinamento na metodologia e que tem por objetivo identificar se o posto de trabalho está de acordo com o que é determinado e se os colaboradores estão realizando as atividades necessárias para manutenção e consolidação do 5S a longo prazo. Atualmente as auditorias são realizadas com papel e caneta, os auditores têm planilhas com os aspectos necessários para auditar (similar ao mostrado anteriormente na Figura 39), imprimem essas folhas e vão na prática verificar não-conformidades. Depois precisam transferir esses dados para o meio digital para compilar as informações e gerar os indicadores.

Para melhorar a eficiência das auditorias, pode-se utilizar tablets ou computadores portáteis, nestes são lançadas as mesmas informações que são auditadas na maneira convencional, mas com a vantagem de comunicação em tempo real com o sistema. Dessa forma, o auditor não precisa transcrever as informações do meio físico para o digital, pois elas serão automaticamente enviadas para o banco de dados. Ao encontrar não-conformidade em um posto de trabalho, o auditor pode registrar com foto e indicar qual o problema encontrado. Ao final da auditoria, o arquivo com as informações é armazenado no banco de dados e um plano de ação é enviado automaticamente para os responsáveis pela área, que poderá responder de forma rápida ao problema encontrado. Ao executar as correções necessárias, a área responsável finaliza a sua ação e o auditor pode confirmar na prática que o trabalho foi executado de acordo com os padrões do 5S (Figura 44).

Figura 44 – Auditoria interna com auxílio de tablet



Fonte: Autor, 2022

Outro ponto positivo em utilizar destes dispositivos eletrônicos é a possibilidade de consulta em tempo real dos ferramentais presentes no posto de trabalho. Uma lista é gerada com os ferramentais que foram utilizados nos últimos meses, já priorizados de acordo com a sua frequência de utilização. Com essa informação em mãos, o auditor verifica se o posicionamento dos ferramentais no posto de trabalho em relação ao *Golden* e *Strike Zone* estão de acordo com a priorização de ferramentais que deveria ser feita, ou seja, se os ferramentais de maior uso estão mais acessíveis do que os de pouco uso.

A consulta pode ser feita no sentido contrário também, o auditor pode pesquisar no sistema os ferramentais encontrados no posto de trabalho e verificar se houve frequência de uso nos últimos meses e se ele realmente precisaria estar alocado no posto de trabalho, se não poderia estar armazenado no estoque ou até mesmo ser descartado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar de ainda não ter sido possível a implantação do trabalho, devido à necessidade de uma aplicação ampla da metodologia de MAP e plano de manutenção para os ferramentais das fábricas, espera-se redução significativa na quantidade de ferramentais armazenados no estoque da fábrica. O momento de maior impacto será, com certeza, no início da implantação, quando forem rodadas as primeiras tarefas e avaliados todos os ferramentais existentes, pois há um passivo grande de ferramentais, mais de 2.500 ferramentais armazenados no estoque, além de todos os que estão armazenados em máquinas e que não estão mapeados.

A aplicação do 5S em um contexto de Indústria 4.0 é realmente um desafio do ponto de vista de viabilidade financeira. Por ser uma filosofia bem basal do ponto de vista de metodologias utilizadas no chão de fábrica, são difíceis encontrar ganhos financeiros significativos a ponto de justificarem o investimento em tecnologias que ainda não estão amplamente difundidas nas indústrias.

Durante as pesquisas por referências de Smart-5S foram encontradas alternativas diferenciadas, com aplicação direta de RFID em ferramentas e objetos, câmeras com IA para identificação de objetos e softwares sofisticados para processamento dos dados, porém nada prático e que se mostrou como aplicação viável para o atual contexto da indústria.

4.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante a análise e discussão dos resultados surgiram ideias mais avançadas em relação à aplicação do 5S no contexto de Indústria 4.0. Na avaliação prévia dessas propostas, verificou-se que para o nível atual de maturidade do local de estudo de caso em relação às tecnologias da Indústria 4.0, não seriam soluções viáveis economicamente, apesar dos benefícios e avanços que podem ser alcançados. Essas sugestões são listadas na sequência:

- Gêmeos digitais: Criação de gêmeos digitais para avaliar posições dos equipamentos e objetos no layout real e o fluxo do operador pelo posto de trabalho. Com o gêmeo digital é possível simular as condições reais de trabalho do operador, conseguindo otimizar as posições dos ferramentais em relação ao

Golden e Strike Zone, a fim de reduzir ao máximo os tempos de não agregação de valor (NVAA e NVAA-N).

- Realidade aumentada: Auxiliar o operador a identificar os objetos no posto de trabalho, reduzindo o tempo de procura por ferramentas ou para identificar erros de posicionamento.
- *Data analytics e big data*: Uso de análise de dados para determinar quais os equipamentos com maior frequência de uso e quais podem ser retirados do posto de trabalho ou até mesmo descartados. Pode-se identificar tendências de mix de produtos e antever possíveis de mudanças que gerariam de ganho de produtividade no posto de trabalho. Fazer agrupamento de materiais similares que utilizam os mesmos ferramentais, reduzindo os tempos de preparação dos postos de trabalho e, conseqüentemente, aumentando a disponibilidade das máquinas para realizar atividades com agregação de valor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACATECH. **Industrie 4.0 – International Benchmark, Options for the Future and Recommendations for Manufacturing Research**. Heinz Nixdorf Institut. Federal Ministry of Education and Research. Alemanha, 2016.

ACATECH. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Federal Ministry of Education and Research. Alemanha, 2013.

ALBERTIN, Marcos Roberto.; PONTES, Heráclito Lopes Jaguaribe. **A Engenharia de Produção na era da Indústria 4.0**. 1ª Edição. Curitiba: Appris, 2021.

ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0 – Princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. 1ª edição. São Paulo: Érica, 2019.

BRANDL, Dennis; JOHNSON, Charlotta. **The ISA95 (IEC 62264) standards have an important place in the Industry 4.0 smart factories of the future. The key is an extended ISA95 activity model**. Disponível em: <<https://www.isa.org/intech-home/2021/october-2021/features/beyond-the-pyramid-using-isa95-for-industry-4-0-an>>. Acesso em: 15/08/2022

BUER, S.-V., Strandhagen, J. O. & Chan, F. T. S. 2018. **The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda**. International Journal of Production Research, Reino Unido, 2018.

Como funciona a tecnologia blockchain? Disponível em: <<https://exame.com/future-of-money/como-funciona-a-tecnologia-blockchain/>>. Acesso em: 24/08/2022.

Deep Shift – Technology Tipping Point and Societal Impact. Global Agenda Council on the Future of Software and Society, Fórum Econômico Mundial, Genebra, 2015.

Factory of the Future. White paper. International Electrotechnical Commission - IEC, Genebra, 2015.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for Industrie 4.0 scenarios**. Technische Universität Dortmund. Alemanha: 2015.

KAGERMANN, Henning.; ANDERL, Reiner.; GAUSEMEIER, Jürgen.; SCHUH, Günther.; WAHLSTER, Wolfgang. **Industrie 4.0 in a Global Context**. Heinz Nixdorf Institut. Federal Ministry of Education and Research. Alemanha, 2016.

LAI, Nai Yeen Gavin, WONG, Kok Hoong, DUNANT Halim, LU, Jiawa. **Industry 4.0 Enhanced Lean Manufacturing**. 8th International Conference on Industrial Technology and Management. Cambridge, UK, 2019.

MACAULAY, J.; BUCKALEW, L.; CHUNG, G. **Internet of Things in logistics**. Cisco: 2015.

MARTINS, Bárbara. **Revoluções que mudaram a sociedade.** Disponível em: <<https://sinted.org.br/revolucoes-que-mudaram-a-sociedade/>>. Acesso em: 27/07/2022.

O que é OEE? Pra que serve? Por que medir o OEE? Disponível em: <<https://www.oeec.com.br/o-que-e-oeec/>>. Acesso em: 10/08/2022.

PAGLIOSA, Marcos. TORTORELLA, Guilherme. FERREIRA, Joao Carlos Espindola. **Industry 4.0 and Lean Manufacturing.** Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2019.

RAMADAN, M. SALAH, B. **Smart Lean Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A case study.** International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, 2019.

RESEARCH COUNCIL OF THE PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 - ACATECH. **Key themes of Industrie 4.0.** Federal Ministry of Education and Research. Alemanha, 2019.

Robótica Industrial: principais aplicações e vantagens. Disponível em: <<https://avozdaindustria.com.br/inovacao/robotica-industrial-principais-aplicacoes-e-vantagens>>. Acesso em: 27/08/2022.

ROMAN, Ružarovský. **Horizontal and vertical integration in Industry 4.0 production systems.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Horizontal-and-vertical-integration-in-Industry-40-production-systems-10_fig1_349356117>. Acesso em: 27/08/2022.

Romi dcm 620-5x hybrid. Disponível em: <<https://www.romi.com/produtos/romi-hybrid/>>. Acesso em: 10/08/2022

SALVETTI, Fernando. **Industry 4.0 in a nutshell.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Industry-40-in-a-nutshell_fig3_345196552>. Acesso em: 24/08/2022.

Short history of manufacturing: from Industry 1.0 to Industry 4.0. Disponível em: <<https://kfactory.eu/short-history-of-manufacturing-from-industry-1-0-to-industry-4-0/#:~:text=Industry%204.0%20originated%20in%202011,year%20at%20the%20Hannover%20Fair>>. Acesso em: 27/07/2022.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** 1ª Edição. São Paulo: Edipro, 2016.

SCHWAB, Klaus.; DAVIS, Nicholas **Aplicando a quarta revolução industrial.** 1ª Edição. São Paulo: Edipro, 2018.

SCHUH, Günther.; ANDERL, Reiner.; DUMITRESCU, Roman.; KRÜGER, Antonio.; TEN HOMPEL, Michael. **Industrie 4.0 Maturity Index.** ACATECH. Alemanha: 2020.

STEDILE, João Vitor. **A relação entre Lean Manufacturing, World Class Manufacturing e Indústria 4.0.** Disponível em:

<<https://avozdaindustria.com.br/colunistas/relacao-entre-lean-manufacturing-world-class-manufacturing-e-industria-40>>. Acesso em: 10/08/2022.

What is big data? Disponível em: <<https://itchronicles.com/what-is-big-data/#:~:text=%E2%80%9CBig%20data%E2%80%9D%20is%20a%20term,records%20from%20millions%20of%20people>>. Acesso em: 24/08/2022.

WESTROM, Dave. **HOW INDUSTRY 4.0 IS TRANSFORMING LEAN MANUFACTURING.** Disponível em: <<https://www.machinemetrics.com/blog/industry-4-0-lean-manufacturing#:~:text=In%20lean%20manufacturing%2C%20organizations%20prioritize,stage%20of%20the%20manufacturing%20process.>>. Acesso em: 10/08/2022.

ZABEU, Bruno. **Cinco práticas que veremos em tecnologia industrial nos próximos anos.** Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/artigo/22967-cinco-praticas-veremos-tecnologia-industrial-proximos-anos>>. Acesso em: 21/09/2022.