

MARIO NASSER

O MÉTODO DE GESTÃO *LEAN MANUFACTURING* E A INDÚSTRIA 4.0

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia, Física e Matemática do Curso de Engenharia Química do Instituto de Química – Unesp/Araraquara, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Ossamu Hojo

ARARAQUARA – S.P.
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

N267o Nasser, Mario
O método de gestão Lean Manufacturing e a Indústria
4.0 / Mario Nasser. – Araraquara : [s.n.], 2021
48 f. : il.

Trabalho de conclusão (bacharelado) – Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Química
Orientador: Ossamu Hojo

1. Lean manufacturing. 2. Indústria de tecnologia de
ponta. 3. Sistemas integrados de gestão empresarial.
4. Tecnologia. 5. Processos. I. Título.

MARIO NASSER

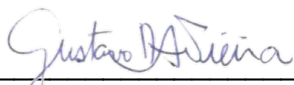
O método de gestão Lean Manufacturing e a Indústria 4.0

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia, Física e Matemática do Curso de Engenharia Química do Instituto de Química – Unesp/Araraquara, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Araraquara, 20 de agosto de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ossamu Hojo



Prof. Dr. Gustavo Nakamura Alves Vieira

Gustavo Nakamura
Alves Vieira

Assinado de forma digital por
Gustavo Nakamura Alves Vieira
Dados: 2021.08.20 09:47:37 -03'00'

Elias de Souza
Monteiro Filho

Assinado de forma digital por
Elias de Souza Monteiro Filho
Dados: 2021.08.20 09:52:33
-03'00'

Prof. Dr. Elias de Souza Monteiro Filho



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil
Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)
Certificado de assinatura gerado em 20/08/2021 às 14:12:04 (GMT -3:00)

Folha de Aprovação Mario Nasser (2) (1).pdf

 ID única do documento: #255b49ac-93e2-453d-84ae-ed07e464276b

Hash do documento original (SHA256): bf1233e4613dd8f5f4f5f848a69bd9a7c4a6c7aa33aab008b016088f5138edaf

Este Log é exclusivo ao documento número #255b49ac-93e2-453d-84ae-ed07e464276b e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

Assinaturas (1)

✓ **Ossamu Hojo (Participante)**
Assinou em 20/08/2021 às 14:12:47 (GMT -3:00)

Histórico completo

Data e hora

20/08/2021 às 14:12:48
(GMT -3:00)

20/08/2021 às 14:12:06
(GMT -3:00)

20/08/2021 às 14:12:47
(GMT -3:00)

Evento

Documento assinado por todos os participantes.

Mario Nasser solicitou as assinaturas.

Ossamu Hojo (Autenticação: e-mail ossamu.hojo@unesp.br; IP: 187.66.83.28) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.

AGRADECIMENTOS

À UNESP, por me permitir vivenciar uma das melhores experiências de minha vida, contribuindo muito para meu lado profissional, mais ainda para meu lado pessoal;

A todos os docentes com os quais tive o privilégio de conviver e que foram responsáveis pelo meu trajeto até aqui;

Ao Prof. Dr. Ossamu Hojo que, em 2015, durante meu primeiro ano de graduação, despertou minha atenção para a importância do método de gestão para o engenheiro químico; sua competência, ética e dedicação tornam-no um exemplo de vida acadêmica e uma referência dentro da universidade;

Ao meu pai que infelizmente não pôde estar presente em vida na entrega do meu trabalho, nem na conclusão de meu curso, mas que foi um dos principais motivadores da minha graduação;

Ao meu irmão, por todo apoio, suporte e aprendizado até aqui;

À Giulia, que me apoiou, suportou, ensinou e colaborou com a escrita deste projeto e contribui diariamente para meu crescimento pessoal e profissional. Sem seus incentivos, dificilmente teria escrito este trabalho;

Aos meus amigos Guilherme, Felipe, Vitor e Leonardo, que sempre me fizeram acreditar no meu potencial e me ajudaram de forma excepcional a concluir o curso;

Às minhas amigas Natália, Mariana e Thais, que muitas vezes fizeram o possível para me ajudar em qualquer ponto que fosse necessário;

À Paula Moraes que, durante todo meu período de graduação foi um suporte para tudo. Não estaria aqui sem você;

Por fim, à minha mãe, que foi minha primeira e principal professora, que me incentivou sempre a estudar, a pesquisar, a trabalhar e, principalmente, a lutar pelo que eu desejo. Mãe, sem você não seria capaz de realizar nada que eu realizei na minha vida; expresso minha completa gratidão a você.

RESUMO

O MÉTODO DE GESTÃO LEAN MANUFACTURING E A INDÚSTRIA 4.0

O Lean Manufacturing surgiu em um período pós Segunda Guerra Mundial, no qual havia escassez de suprimentos e de demanda, com o objetivo de redução de desperdícios, melhora na produtividade e rentabilidade. No entanto, a indústria 4.0, surgiu durante grandes mudanças tecnológicas provenientes da Quarta Revolução Industrial, em um período de alto consumo e disponibilidade de suprimentos. Apesar do grande espaço de tempo e de cenário entre os dois conceitos, há uma intersecção e um potencial aproveitamento das tecnologias no método *lean*. Neste trabalho, foi feita uma revisão bibliográfica com o objetivo de determinar os principais pontos de sinergia entre o método de gestão e as ferramentas tecnológicas e, também, uma análise das melhorias em casos reais provenientes desta junção.

Palavras-chave: lean manufacturing, indústria de tecnologia de ponta, sistemas integrados de gestão empresarial, tecnologia, processos

ABSTRACT

THE LEAN MANUFACTURING MANAGEMENT METHOD AND INDUSTRY 4.0

Lean Manufacturing emerged in a post-World War II period, in which there was a shortage of supply and demand, with the objective of reducing waste, improving productivity and profitability. However, industry 4.0 emerged during major technological changes arising from the Fourth Industrial Revolution, in a period of high consumption and availability of supplies. Despite the large space of time and scenario between the two concepts, there is an intersection and a potential use of technologies in the lean method. In this work, a literature review was carried out in order to determine the main points of synergy between the management method and the technological tools, and also an analysis of the improvements in real cases arising from this intersection.

Key words: lean manufacturing, state of art technology, management integrated systems, technology, process

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. CURSO HISTÓRICO E MÉTODO DE GESTÃO.....	10
2.1 Curso histórico.....	10
2.2 Principais conceitos.....	12
2.3 Ferramentas e métodos.....	16
2.3.1 <i>Kaizen</i>	16
2.3.2 <i>Jidoka</i>	17
2.3.3 <i>Kanban</i>	18
2.3.4 <i>Heijunka</i>	20
2.3.5 <i>Just in time</i>	20
2.3.6 TPM.....	21
2.3.7 <i>Poka yoke</i>	21
2.3.8 5S.....	22
2.3.9 PDCA.....	23
2.3.10 Objetivos SMART.....	24
2.4 Indústria 4.0.....	25
2.4.1 Pilares da Indústria 4.0.....	27
3. DISCUSSÃO.....	27
3.1 Integração <i>Lean manufacturing</i> e Indústria 4.0.....	31
3.1.1 Cinco princípios do <i>lean</i> e da Indústria 4.0.....	31
3.1.2 Os desperdícios e as tecnologias 4.0.....	32
3.1.3 Ferramentas do <i>lean</i> e da Indústria 4.0.....	34
3.1.3.1 <i>Kaizen</i>	34
3.1.3.2 <i>Jidoka</i>	35
3.1.3.3 <i>Kanban</i>	36
3.1.3.4 <i>Poka yoke</i>	37
3.1.3.5 <i>Just in time</i>	37
3.1.3.6 TPM.....	38
3.2 Aplicação da intersecção <i>lean</i> com a Indústria 4.0.....	39
3.2.1 Linha de produção de baterias para <i>smartphone</i>	39
3.2.2 Case Boticário.....	41

3.2.3 Case de detecção de problemas em produtos e processos por <i>Big data</i>.....	41
3.2.4 Sugestão de uso: separação de materiais.....	42
3.2.5 Sugestão de aplicação na indústria alimentícia: redução de desperdício em pasteurizadores.....	42
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de Produção	11
Figura 2 - Muda, Muri, Mura	12
Figura 3 - Lean House	15
Figura 4 - Motivações do Kaizen	17
Figura 5 - Quadro Kanban	19
Figura 6 - Ciclo PDCA	24
Figura 7 - Pilares da Indústria 4.0.....	27
Figura 8 - Processo Antes da Modificação	39
Figura 9 - Processo pós Modificação	40

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o mundo passou por quatro grandes revoluções industriais. A primeira, ocorrida sobretudo na segunda metade do século XVIII, trouxe a utilização das máquinas a vapor. No final do século seguinte, a eletricidade e a produção em larga escala marcaram o segundo momento da indústria. A Primeira e a Segunda Guerras Mundiais foram responsáveis pela terceira época da revolução industrial, porque trouxeram, no seu bojo, uma grande recessão econômica e escassez de produtos que impactaram fortemente na indústria. Num cenário pós-guerra, a existência de uma produção industrial em larga escala, com grande consumo de matérias-primas, energia e recursos, era inadequada e inviável. Com necessidade crescente e modelos de produção industrial que não se adaptavam a essa realidade, o Japão criou um processo produtivo, o qual contrariava os métodos da época – ausência de altos estoques, fluxo de caixa mais rápido, diminuição da necessidade de capital de giro e atendimento a várias demandas em um só polo industrial. Denominado TPS (Sistema Toyota de Produção), tinha como um dos principais ideais o *Lean manufacturing* – produção enxuta – e visava à diminuição dos desperdícios que havia no processo industrial. Com isso, as empresas japonesas e o próprio país conseguiram se tornar competitivas no mercado internacional mesmo com a herança da guerra (COUTINHO, 2020).

Logo após a criação desse modelo enxuto de produção, ocorreu a terceira grande Revolução Industrial, marcada pela automatização das máquinas, o que contribuiu bastante para o método de produção japonês. Atualmente, em pleno século XXI, ocorreu a última grande alteração na nossa cadeia produtiva: as primeiras fábricas inteligentes, com produção em massa *on-line* e que não necessitam de controle humano presente no ambiente fabril. Essas alterações permitiram a criação da Indústria 4.0 (IBERDROLA SA, 2021). As indústrias de processo no Brasil se adaptaram ao modelo *lean* e à terceira revolução industrial.

Com a entrada de tecnologia, é necessário entender como o modelo de gestão de produção enxuta se relaciona com as inovações provenientes da quarta Revolução Industrial. Nesse contexto, o engenheiro químico tem amplo espaço de atuação para gerir essa relação, devido a conhecimentos em economia, inovação, processos e mapeamento de produção, inerentes a sua formação. Sob esse prisma, este trabalho tem como objetivo apresentar a correlação entre *Lean manufacturing* e Indústria 4.0.

O caminho para essa abordagem temática – que tem como base uma revisão bibliográfica que abarcou as contribuições mais expressivas para o estudo desse novo modelo de produção – faz-se por meio de duas partes.

Na primeira delas, é apresentada a evolução dos sistemas de produção no intervalo entre os séculos XIX e o XXI por meio de um histórico das grandes revoluções industriais, o surgimento da Indústria 4.0 e de *Lean manufacturing*.

Na segunda parte, não só se traça um paralelo entre o método de gestão e as expectativas da Indústria 4.0, mas também se apresentam exemplos de empresas que conseguiram aplicar alguns fundamentos do *Lean* à produção tecnológica. Focaliza-se o potencial das ferramentas tecnológicas e evidencia-se como o método de gestão pode ser o principal fator para a implementação.

Nas considerações finais, ressalta-se a importância da continuidade dos estudos aqui apresentados.

2 CURSO HISTÓRICO E MÉTODO DE GESTÃO

2.1 Curso histórico

O início da era industrial caracterizou-se por um sistema de produção artesanal, no qual cada projeto era produzido de forma única, o que dificultava a padronização dos produtos. Segundo esse método, existiam organizações que eram descentralizadas, sem motivação ou viabilização de pesquisa ou revoluções tecnológicas (RODRIGUES, 2014).

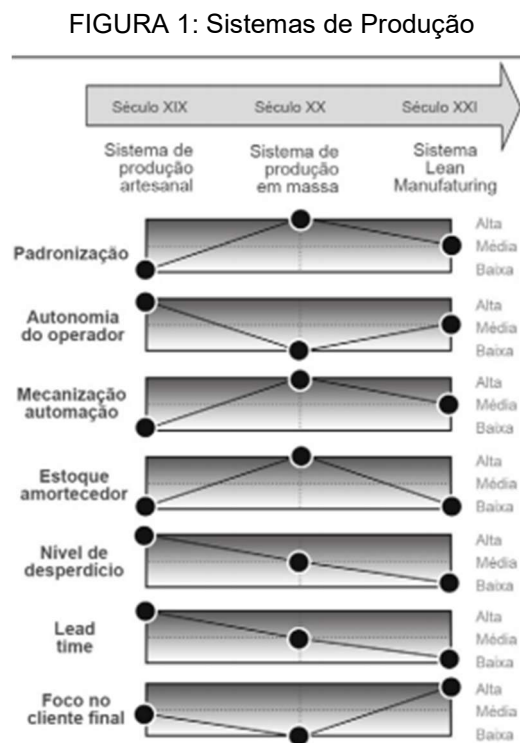
A produção customizada de produtos ditou o rumo até a segunda Revolução Industrial, durante a qual houve uma mecanização crescente, o surgimento de uma economia de mercado e a motivação pelos desejos do consumidor. O estudo de Frederick Taylor, no início do século XX, possibilitou o conhecimento dos primeiros fundamentos de gestão dos processos produtivos por meio da padronização e da otimização das indústrias.

Influenciado pela teoria de Taylor, Henry Ford elaborou o método de produção conhecido como Fordista, que consistia na montagem de uma linha de produção automobilística em que não havia variações e permitia uma redução no tempo de produção. Essa produção em massa não necessitava de mão de obra qualificada, pois os operadores executavam poucas ações, além de que se caracterizava como linha de produção móvel – deslocamento do produto até o operador, não o contrário, como era costumeiro –, o que resultaria em maior produtividade individual. Apesar da baixa qualificação da mão de obra, houve necessidade de se criar profissões – que não existiam até então – para supervisionar e garantir a entrega dos produtos. Com a indústria de produção em massa em desenvolvimento, o modelo Fordista desistiu de organizar o processo produtivo. Nesse contexto, Alfred Sloan passou a utilizar métodos sistemáticos de gestão para controlar a organização (RODRIGUES, 2014).

O sistema produtivo caminhava bem no ocidente, porém o cenário pós Segunda Guerra Mundial prejudicou muito os países asiáticos, em especial o Japão, onde a situação caminhava para o lado oposto. A herança da guerra, a escassez de produtos, a alta demanda e a falta de competitividade no mercado internacional não permitiam que o Oriente marchasse para o apogeu da produção em massa: eram necessárias mudanças. Em meio a essa crise no Japão, Eiji Toyota, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo buscaram uma forma de organizar um sistema produtivo capaz de

atender as necessidades de consumo dos países orientais e de permitir a ascensão econômica do Japão. Criaram, então, um método de gestão chamado inicialmente de Sistema Toyota de Produção que, depois de sua difusão pelo mundo e agregação de novas teorias, serviu para a elaboração do Sistema de Produção Enxuta – *Lean manufacturing*.

No Ocidente, a produção em massa se estendeu até meados dos anos 70, quando a crise do petróleo afetou o seu ritmo de crescimento econômico; em oposição, as grandes organizações japonesas – entre elas, a Toyota – continuavam crescendo. Os Estados Unidos perceberam, então, a necessidade de padronização, de produção em escala e de redução de custos por meio da diminuição dos desperdícios (Figura 1). Em contato com Taichii Ono, que visitou os Estados Unidos, houve uma mudança no enfoque dos estudos para a compreensão do sistema de produção que havia nas empresas japonesas, permitindo a diminuição do desperdício e melhoria da produtividade. (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO, 2019)



Fonte: Rodrigues (2014)

2.2 Principais conceitos

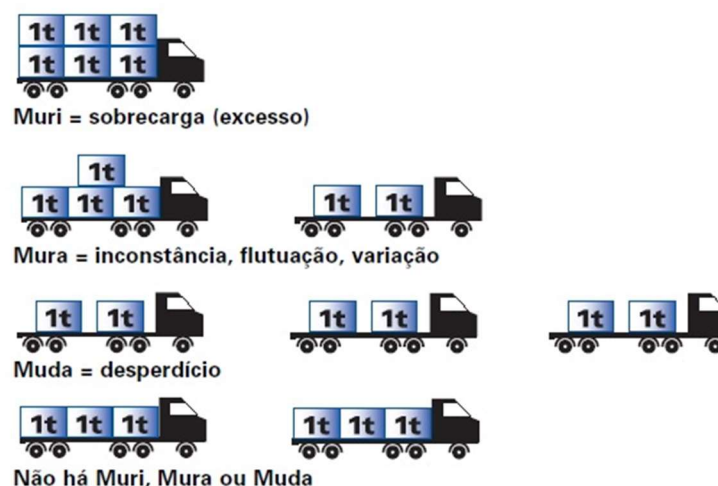
Para compreender como o modelo de produção enxuta reduziu o desperdício e permitiu que as empresas japonesas crescessem mesmo em período de crise, é importante ressaltar os seus principais conceitos. Sua origem é o Sistema Toyota de Produção (STP), cujo preceito focalizava as atividades que geravam desperdício e o tratamento que lhes devia ser dado para minimizá-las (Figura 2). Na criação do STP, identificaram-se três tipos de atividades que causavam desperdícios de acordo com o *Lean Institute Brasil*:

1. *Muda* – atividade que consome recursos empresariais sem gerar valor ao cliente. Classificam-se como *muda* tipo 1 as atividades que não são eliminadas por *Kaizen* (melhoria contínua) como, por exemplo, o retrabalho; e como *muda* tipo 2, a movimentação de produtos e estoque entre os processos de fabricação.

2. *Muri* – sobrecarga dos recursos por um tempo superior ao que eles são capazes de aguentar.

3. *Mura* – falta de padrão na operação, causada pelo ritmo de trabalho irregular ou outros fatores.

FIGURA 2: Muda, Muri, Mura



Fonte: LEAN INSTITUTE BRASIL

Compreendendo as categorias de desperdício, Taiichi Ono, um dos elaboradores e fundadores do STP, identificou os principais desperdícios dos processos produtivos (VOITTO TREINAMENTOS, 2020):

1. Processamento impróprio – desperdício identificado como excessivo que ocorre devido a um processamento além do que o necessário para atender o cliente, ou a uma falta de sequência lógica. Pertence à categoria *muda*, cuja solução se dá por meio da identificação e da eliminação dos retrabalhos.

2. Excesso de produção – desperdício da categoria *muri*, que consiste em maior produção do que a demanda, inflando o estoque, contribuindo para mais defeitos e maior custo de logística.

3. Estoque – desperdício da categoria *muri*, associado ao armazenamento exagerado de insumos, matérias-primas. A estocagem em excesso contribui para maior necessidade de capital, já que constitui um capital imobilizado.

4. Transporte – O transporte dispensável de materiais e funcionários configura-se desperdício por não agregar valor ao produto. Quando necessário, deve ser minimizado. Relaciona-se à categoria *mura*.

5. Movimentos desnecessários – desperdício da categoria *mura*. A movimentação errônea e demasiada dos equipamentos e/ou colaboradores do processo implica tempo que poderia ser utilizado para produção.

6. Defeitos e retrabalho – desperdício da categoria *mura*. Caracteriza-se pela produção de produtos defeituosos, fora da especificação, ou que não atendem as necessidades do cliente final. Muitas vezes precisam ser retrabalhados ou até sucateados.

7. Espera – desperdício da categoria *mura*. Trata-se do não aproveitamento de todos os recursos do processo. Normalmente está associado à falta de operação de máquinas, a funcionários parados e a recursos não otimizados.

8. Conhecimento (pessoas) – associa-se ao desperdício intelectual dos colaboradores, não direcionando o funcionário para exercer uma função para a qual possui aptidão. É papel do gestor identificar as atividades apropriadas aos colaboradores e, por fim, permitir que eles estejam motivados e abertos para dar opiniões inerentes ao negócio.

A identificação de desperdícios é o primeiro passo para implementar o método de gestão enxuto. Segundo James Womack e Daniel Jones (2003), em sua obra *Lean Thinking*, o maior antídoto para a *muda* é o pensamento enxuto, que consiste em fazer mais com menos esforço humano, equipamentos, tempo e espaço. Como consequência, o trabalho torna-se mais satisfatório, já que os esforços são recompensados pela agregação do valor. Além do valor, outros princípios do *lean* – fluxo de valor, fluxo, produção puxada e perfeição – são agregados.

O valor, primeiro princípio de um produto, é o ponto de partida para qualquer atividade *lean*. Seu determinante é o consumidor final, suas necessidades e capacidade de pagar pelo produto (WOMACK; JONES, 2003). A empresa deve, então, entender o perfil dos seus consumidores para atingi-los e atendê-los.

Agregado ao valor, há o fluxo de valor que consiste, segundo o princípio do *lean*, na composição de todas as atividades e/ou ações necessárias para que o produto seja entregue com o valor definido para o consumidor. Todos os desperdícios que se possam retirar do fluxo de valor apontam para um processo *lean*. (FM2S EDUCAÇÃO E CONSULTORIA, 2021).

O terceiro princípio do *lean* é o fluxo, o qual consiste no entendimento de que todo o fluxo de valor deve seguir sempre um processo fluido, contínuo, aproveitando o tempo para agregar o máximo de valor possível, o que permite eliminar desperdícios como o tempo do produto parado e a redução dos estoques (RODRIGUES, 2014).

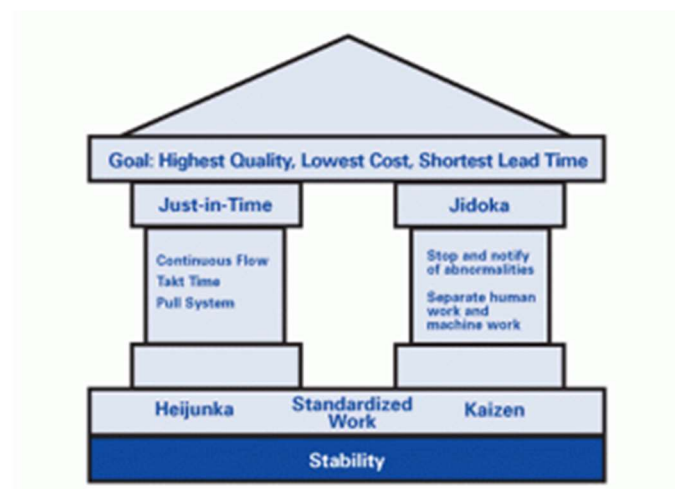
O princípio da Produção Puxada refere-se à maneira como a produção é controlada. Dessa forma, entende-se que as atividades que “puxam” a produção – fluxo inicial do processo – avisam todas as atividades posteriores, visando, assim, a eliminar os estoques, a produção exacerbada e a imobilização de capital. Sob essa ótica, toda a produção deve ser puxada pelo cliente, e não a empresa puxar a produção para depois tentar revender (CARVALHO, 2018).

O quinto e último princípio é a Busca pela Perfeição cujo objetivo é melhorar o processo produtivo de maneira contínua, constante e até permanente. As possibilidades de aperfeiçoar um processo ou organização são inerentes à existência deles. As melhorias para atingir a perfeição devem sempre se basear em consumir menos tempo, mão de obra, capital entre outros, mantendo sempre o foco em melhorar a percepção de valor e satisfação do cliente final. (LEAN IT, 2019). Normalmente a Busca pela Perfeição é feita de duas formas: a primeira, não impactando tanto o processo e sendo uma melhoria pontual, que chamamos de

kaizen. A outra oportunidade de melhoria se trata de *kaiakaku*, que traz uma mudança radical nos processos ou na própria empresa, sendo muitas vezes algo disruptivo. (QUALYTEAM, 2021)

Quando se trata do *Lean manufacturing*, faz-se necessário compreender como o método da gestão age. A literatura traz diversas vertentes de pensamentos, dentre os quais o mais difundido é o conceito de *Lean house*, o qual compara a construção da metodologia *lean* com a edificação de uma casa (Figura 3).

FIGURA 3: Lean House



Fonte: LEAN BLITZ CONSULTING (2011)

Toda construção é erigida a partir de uma fundação, a qual é retratada como *Stability* (Estabilidade), que representa a necessidade de padronização e estabilidade do processo, que é o primeiro desafio que se encontra ao implementar esse método de gestão. Para atingir a estabilidade, há a presença necessária de três elementos: *Heijunka*, *Standardized Work* e *Kaizen*. *Heijunka* refere-se à produção nivelada, ou seja, à redução da variedade e da diversidade dos itens produzidos por um processo (TADASHI, 2006); *Standardized Work* é a tradução de trabalho padronizado, que consiste em uniformizar todas as atividades e operações do processo através de POP's (procedimentos operacionais padrão), que são manuais de como o colaborador deve executar o seu serviço; por fim, *Kaizen*, ação de melhoria contínua pontual. Os pilares do *lean* são a metodologia *Just in time*, baseada no sistema da Toyota, e *Jidoka*, a automação (automação com toque humano). Com uma base forte e pilares robustos, consegue-se atingir o objetivo retratado pelo teto da casa: maior qualidade, menos custo e menor *lead time* para produção dos produtos.

2.3 Ferramentas e métodos

Os princípios do *Lean manufacturing* demonstram oportunidades para se reduzir desperdício e ganhar eficiência no processo, porém, para que se atinjam os objetivos finais desse método de gestão, é necessário que se utilizem algumas ferramentas e práticas capazes de executar os passos da produção enxuta. Embora exista um grande leque de ferramentas e oportunidades para trabalhar os detalhes e as demandas para se alcançar o intento final, este trabalho apresenta as dez mais difundidas na literatura e na execução do *lean* atualmente: *kaizen*, *jidoka*, *kanban*, *heijunka*, *just in Time*, TPM, Objetivos SMART, *poka yoke*, 5S e PDCA.

2.3.1 Kaizen

O movimento *kaizen* surgiu no Japão, logo após a Segunda Guerra Mundial, e significa “mudança para melhor”. Para Masaaki, considerado por muitos o pai do *kaizen*, o trabalho coletivo deve prevalecer sobre o individual, de forma a sempre permitir que as metas compartilhadas da empresa o direcionem, porém, sempre atendendo aos ideais e às necessidades pessoais. Dessa forma, a satisfação e a responsabilidade emergem como valores coletivos do *kaizen* (ENDEAVOR BRASIL, 2015).

Para aplicar tal filosofia, faz-se necessária a compreensão das motivações nas quais se baseia (Figura 4). A primeira delas, *know your customer*, volta-se para a identificação dos interesses do consumidor, a fim de melhorar a experiência dele com seus produtos, o que agrega mais valor ao processo. *Let it flow* visa à expectativa de zero desperdício no processo, envolvendo todos os colaboradores no propósito de sempre criar valor e não desperdiçar. A terceira, *go to gemba*, considera que o valor do processo está nele, daí a necessidade de visualizá-lo e estar próximo a ele, tornando todo o método *kaizen* visual. A organização do time por meio da criação de metas e objetivos compartilhados, motivando o trabalho em grupo e valorizando-o mais que o individual, sempre atento às expectativas individuais conforma o *empower people*. Por fim, *be transparent* aborda o ideal de tratar de fatos e dados de modo compreensível e acessível: *performance* e melhorias devem ser visíveis e tangíveis a todos.

O que torna o *kaizen* um método tão importante e atual não é apenas sua capacidade de resolver problemas, mas de criar uma constância e uma cultura de solução de problemas. O resultado mais relevante desse método é o acúmulo de pequenas mudanças que conduzem, no final do processo, a um resultado expressivo.

FIGURA 4: Motivações do Kaizen



Fonte: KAIZEN INSTITUTE (2020)

2.3.2 Jidoka

A simples tradução da palavra *jidoka* – automação – não é suficiente para a compreensão do conceito real do método que representa. Faz-se necessário, portanto, retomar a expressão que a ele deu origem: *Ninben no aru jidoka*, cujo significado é automação com toque humano (GHINATO). Tal conceito consiste em atribuir autonomia ao operador e/ou à máquina para encerrar o processo sempre que houver alguma anormalidade – algum erro na linha de produção ou a possibilidade de erro futuro. Mais do que pausar o processo por falhas, o *jidoka* informa a todos do fato e age em grupo para sua correção, de maneira a melhorar o processo no futuro, evitando uma próxima pausa pelo mesmo motivo. (LEAN IT, 2020)

Dado esse contexto, é possível identificar um passo a passo para a execução do *jidoka*. A primeira etapa é a constatação de uma anormalidade como, por exemplo, produtos saindo fora da especificação – caso de uma anormalidade ocorrida anteriormente –, ou a comprovação de que a temperatura de um equipamento está fora da especificação necessária antes de processar o produto – caso de uma anormalidade que pode vir a acontecer. Em seguida, vem a parte principal do *jidoka*, parar a operação e avisar a todos os colaboradores o problema que originou a interrupção. Em conjunto, organizam-se para solucionar imediatamente tal dificuldade e, posteriormente, para compreender o motivo de tal problema e quais as formas de prevenir sua recorrência.

Muitas vezes denominada “qualidade na fonte”, por permitir que o controle de qualidade seja feito anteriormente ao fim da fabricação, evitando, assim, uma produção comprometida, o método *jidoka* evita o prejuízo ocasionado pelo retrabalho e desperdícios (RODRIGUES, 2014).

2.3.3 Kanban

Kanban é definido como uma metodologia que visa a gerenciar, estabelecer e melhorar o andamento dos fluxos de produção durante o processo, o que provoca mudanças focalizadas e rápidas dentro das organizações. Baseia-se em tornar visível o que muitas vezes é intangível a todos e permite um controle detalhado de produção de forma a garantir que as entregas sejam feitas com a quantidade necessária de trabalho. Trata-se, portanto, de um fluxo de entrega que limita a quantidade do trabalho em progresso (WiP), cujos valores, elencados a seguir, podem ser resumidos em uma única palavra: respeito (ANDERSON; CARMICHAEL, 2016).

1. Transparência – a crença em compartilhar informações por meio de vocabulário simples e claro melhora o fluxo de valor de um negócio.
2. Equilíbrio – a compreensão de que vários aspectos e pontos de vista devem ser equilibrados para a eficácia do projeto.
3. Colaboração – como na filosofia *lean*, há a valorização do trabalho em conjunto, o que faz com que o método *kanban* contribua para o aperfeiçoamento do trabalho em grupo.

4. Foco do Cliente – cada sistema *kanban* tem como objetivo final um ponto de percepção de valor ao cliente.

5. Fluxo – conscientização do valor associado ao trabalho, entendendo que tudo contribui para um fluxo de valor.

6. Liderança – o líder deve inspirar os outros, ser um exemplo a ser seguido.

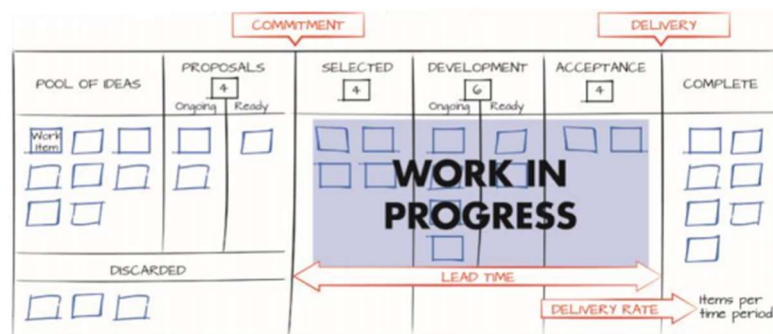
7. Compreensão – o método *kanban* tem como finalidade a melhoria, logo é importante a compreensão e o conhecimento dos pontos de partida e de chegada.

8. Acordo – o método *kanban* se trata de um compromisso com a melhora dos processos. Dessa forma, deve-se entender que, independentemente da opinião ou abordagem, o fim é o mesmo.

9. Respeito – valorização, entendimento e consideração pelas pessoas. Visto como base da pirâmide dos valores do *kanban*.

Essa técnica é muito utilizada em sistemas produtivos como forma de gestão à vista dos colaboradores, a partir da qual é possível acompanhar as atividades e o desenvolvimento das ações por meio de um quadro ilustrativo.

FIGURA 5: Quadro Kanban



Fonte: ANDERSON e CARMICHAEL (2016)

A figura 5 representa um exemplo de um quadro kanban. Inicia-se com um *brainstorming* (pensamento de várias ideias possíveis de se aplicar ao processo), seguindo para a apresentação de propostas (das ideias, as que possuem maior impacto) e a seleção – ou seja, as atividades iniciais pendentes, à medida que elas vão se desdobrando e sendo realizadas, seguem o fluxo para a direita até a parte de atividades completas.

2.3.4 Heijunka

Heijunka pode ser entendido como o nivelamento da produção, ou seja, equiparar a variedade e a quantidade de itens produzidos ao longo do tempo, permitindo a eliminação da variabilidade excessiva da produção (NUNES, 2019). A aplicação do *heijunka* permite que tenhamos previsibilidade da saída do processo, que é visto como o início de todo e qualquer projeto de *Lean manufacturing*.

As vantagens da sua aplicação envolvem a predição de estoques e produção – ao se manter o nível de estoque necessário para suprir a absorção do mercado, há aumento da flexibilidade da empresa. No caso de imprevisibilidade no cenário econômico, não haverá um impacto significativo, pois baixos estoques e ritmo de produção adequado significam redução de custos e viabilizam a adequação da produção nesse cenário. O objetivo do *heijunka* é ajustar a produção sem custos extras com equipamentos e mão de obra obsoleta. Por fim, há diminuição do *lead time* de produção, agregando mais valores aos clientes. (NOVIDÁ, 2019).

2.3.5 Just in time

Um dos pilares do Sistema Toyota de Produção, *just in time* é uma filosofia de administração da manufatura que visa à vantagem competitiva por meio da otimização de processos produtivos, considerando a viabilização de recursos de capital, equipamento e mão de obra. Três proposições básicas caracterizam esse método: a integração e a otimização do processo as quais desconsideram, na produção, aquilo que não agrega valor ao produto; a aplicação da melhoria contínua (*kaizen*) e o entendimento das necessidades dos clientes e o atendimento a elas (ALVES, 1995).

O principal objetivo do *just in time* é adequar o processo, de modo que o fabricante tenha materiais, maquinário e pessoas suficientes para cada tarefa, motivado única e exclusivamente pela necessidade dos clientes. Sendo assim, a aplicação do *heijunka* é o principal viabilizador do *just in time*.

2.3.6 TPM

A Manutenção Produtiva Total – TPM – é o nome dado a uma filosofia criada para a manutenção de todos os equipamentos da linha de produção em bom estado, a fim de que se empregue toda a sua capacidade durante a utilização, evitando-se, assim, desperdícios e perdas. A TPM apresenta cinco conceitos básicos para sua execução (ROYER, 2009):

1. Melhoria individual – melhoria individual dos equipamentos.
2. Manutenção planejada – estruturação de cronograma de manutenção.
3. Estruturação da manutenção preventiva – estruturação de uma sistemática de manutenção espontânea.
4. Educação e treinamento – treinamento para melhoria de operação das máquinas e da equipe de manutenção.
5. Manutenção autônoma – monitorização para gestão do equipamento.

Tais conceitos da TPM são fundamentais para a garantia da eficiência das instalações. Eliminar a falta de conhecimento da velocidade e da taxa de produção das máquinas e aumentar o ciclo de vida dos equipamentos com manutenções periódicas evitam problemas nos maquinários antes que sejam inutilizados, além de que incentivam o trabalho em equipe, alma do *Lean manufacturing*.

2.3.7 Poka yoke

O termo *poka yoke* – livre de falhas – tem sua origem nos métodos utilizados no Sistema Toyota de Produção, segundo o qual havia a necessidade de obtenção de zero defeitos na produção e a eliminação das inspeções de qualidade. A ideia inicial era prevenir falhas humanas no trabalho, principal fonte de defeitos na época. É claro que as falhas são inevitáveis e inerentes à natureza humana e podem ser classificadas como falhas por inadvertência (não percebidas quando são cometidas), falhas técnicas (motivadas pela falta de aptidão ou conhecimento) e falhas premeditadas (responsabilidade ou comunicação confusas, classificadas como intencionais). A filosofia do *poka yoke* emprega dispositivos ou ações que visam a prevenir as prováveis falhas dos operadores que trariam como consequências defeitos no produto final, ou possíveis causas de acidentes. A maneira ideal de se aplicar é sempre na

prevenção de acidentes, por isso o *jidoka* se faz tão importante na implantação do *poka yoke* (RODRIGUES, 2014).

O *poka yoke* pode ser de dois tipos: regulação ou detecção. A regulação, utiliza o método de advertência ou o de controle – este tem como tarefa parar a máquina ou linha de produção quando o *poka yoke* for ativado; aquele é responsável pelo acionamento de sinais (sonoros ou visuais) com o intuito de alertar o operador de qualquer anormalidade. As práticas de detecção são de contato – detecta a anormalidade através de uma série de dispositivos que se mantêm em contato durante o fluxo normal e, qualquer alteração há a sua ativação –, conjunto – responsável pela garantia de que todas as operações são executadas em sequência pré-estabelecida, sem haver a possibilidade de negligência – e etapas – evita a realização de etapas que não fazem parte da operação, sendo muito aplicado em operações de movimentos padronizados. (SIMÕES, MARTINS, *et al.*, 2005)

2.3.8 5S

O programa 5S é muito conhecido como um projeto de “arrumação de casa”, devido à motivação de sua criação que visava à reorganização, em todos os níveis, no Japão pós-guerra. A denominação está vinculada aos cinco sentidos – *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*.

Na literatura, é possível identificar que os sentidos podem ser classificados de maneira diferente, já que toda estrutura *lean* pode ser adequada a diferentes realidades e aspectos da localidade em que está sendo aplicada. Segundo Rodrigues (2014), os conceitos podem apresentar os seguintes objetivos:

1. *Seiri* – sentido de utilização. Tem como objetivo otimizar os espaços, alocações, utilização de móveis, equipamentos e disposição de trabalhadores.

2. *Seiton* – sentido de organização. Ordena os espaços, móveis, equipamentos, materiais de uso, objetos de interesse de forma a serem de fácil acesso. É responsável também pela redefinição de armazenamento de materiais.

3. *Seiso* – sentido de limpeza. Sua finalidade é deixar sempre limpo ou em melhores condições possíveis os espaços, recursos e equipamentos. Criação de uma cultura de limpeza e manutenção.

4.*Seiketsu* – senso de padronização. Objetiva cumprir as recomendações técnicas e manter condições de trabalho de forma a manter a saúde dos colaboradores. Procura a padronização de bons hábitos e dos procedimentos ou ações eficazes.

5.*Shitsuke* – senso de disciplina. Criação de uma cultura para educar, conscientizar e disciplinar o colaborador.

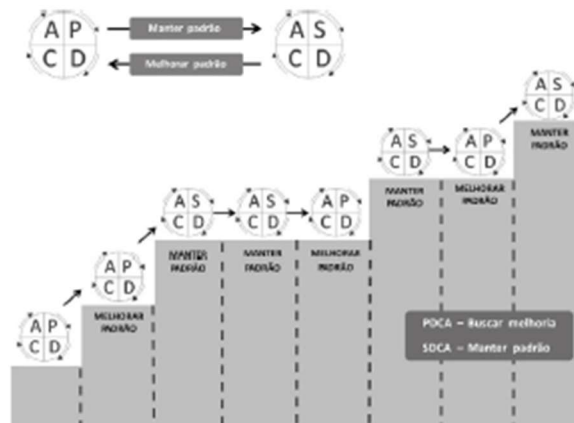
A importância do sistema 5S se dá por se tratar de um passo inicial e de base para melhoria de todos os processos nas organizações, por ser capaz de criar uma filosofia de melhoria do ambiente de trabalho e de uma nova cultura.

2.3.9 PDCA

O ciclo PDCA tem como principal escopo o controle e a indicação de oportunidades de melhorias num processo por meio da identificação dos desvios de padronização. Realiza-se através do planejamento (P), da execução do planejamento (D), da verificação do resultado (C) e, por fim, da ação corretiva do processo (A). Vale destacar que é considerado um circuito devido à necessidade de “rodá-lo” a cada fim de ciclo de produção e/ou identificação de um desvio, a fim de melhorar o processo continuamente.

No nível operacional, emprega-se uma variação do PDCA a fim de padronizar as ações que funcionaram, o SDCA. Nessa variante, o P de planejamento é substituído pelo S, que se refere à padronização das ações e deve ser feito de maneira cíclica, de forma que, ao se encontrar um padrão através do SDCA, deve-se aplicar o PDCA para garantir a constante melhoria (RODRIGUES, 2014).

FIGURA 6: Ciclo PDCA



Fonte: RODRIGUES (2014)

2.3.10 Objetivos SMART

A metodologia SMART fornece parâmetros para que o objetivo seja estabelecido de forma coerente, envolvendo desafios possíveis. Segundo o Sebrae (2021), a cada letra da sigla, há um aspecto correspondente que deve ser observado:

S – Específico. O objetivo deve dizer exatamente o que se busca alcançar. Para concretizar esse parâmetro, é necessário entender o que se busca, quem está envolvido, como será executada a tarefa e por quem deve ser seguida.

M – Mensurável. Ao se determinar uma meta, deve haver alguma forma de medir se houve o alcance final ou não. Para isso, é preciso quantificar o objetivo.

A – Atingível. Criar uma meta atingível é a melhor forma de gerar engajamento para as atividades. Normalmente metas inatingíveis geram frustração e prejuízo a longo prazo.

R – Relevante. É importante a criação de metas que sejam relevantes para todos os envolvidos e que gerem efeitos positivos após a sua implantação.

T – Temporal. O estabelecimento de prazos é essencial para atingir os objetivos; sem a definição de uma linha de tempo, o objetivo tende a ser perdido.

Todos esses métodos citados não são excludentes, mas abrangentes. A sua melhor forma de aplicação está condicionada à combinação de duas ou mais filosofias.

2.4 Indústria 4.0

A história mostra que todas as grandes revoluções ocorreram quando novas tecnologias e formas inovadoras de perceber o mundo foram responsáveis pela alteração das estruturas econômicas e sociais. A primeira grande revolução aconteceu há mais de 10.000 anos, quando o homem deixou de ser nômade para se fixar para a prática da agricultura e a vivência do então recém aprendido da domesticação dos animais. Tal período ficou conhecido como Primeira Revolução Agrícola. Após essa revolução, o conhecimento conduziu o homem a outras grandes transformações, destacando-se a primeira e segunda revolução industrial. A primeira, nos trouxe a máquina a vapor e datou-se entre 1760 e 1840, enquanto a segunda, surgiu logo após o fim e teve como principal ponto o advento da eletricidade e das linhas de montagem: pela primeira vez, o ser humano seria capaz de produzir em larga escala. A terceira teve seu início na década de 60, período pós Segunda Guerra Mundial, e foi considerada a revolução digital – ou revolução do computador –, pois foi impulsionada pelo eletromagnetismo (criação de semicondutores) e pela computação: *mainframe* nos anos de 1960; computação pessoal na década de 70; internet nos anos de 1990. (SCHWAB, 2016)

A quarta revolução industrial teve seu início na virada do século, porém, somente no ano de 2011, em uma feira em Hannover, foi-se utilizado o termo “Indústria 4.0”, que vinha para descrever como as cadeias de geração de valor seriam impactadas com o advento do mundo digital. Assim, em 2013, foi publicado nesta mesma feira um trabalho que retratava que o fundamento básico desta revolução implicaria uma conexão entre máquinas, sistemas e ativos, criando redes inteligentes ao longo de toda a cadeia de valor. (SILVEIRA, 2016)

Depois de 2011, a quarta revolução industrial tornou-se conhecida como “Indústria 4.0” que pode ser definida brevemente como o início da automação industrial e da integração de diferentes tecnologias – inteligência artificial, internet das coisas, computação em nuvem – com o objetivo de melhorar os processos e aumentar a produtividade. (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2020)

A Indústria 4.0 é parte de um grande projeto estratégico que visava, na época, ao aumento da produtividade da indústria alemã. Utilizava o uso de inovações de alta tecnologia para ganhos internos. Na ocasião, as indústrias pioneiras, lideradas pela Robert Bosch, apresentaram um passo a passo para o governo alemão das

estratégias esperadas para a Indústria 4.0. Até os dias de hoje, a Alemanha lidera esses temas, possuindo conhecimento em pesquisa e produção de tecnologia para ganho de produção (CARDOSO, 2016).

Segundo Cardoso (2016), de acordo com os pontos da pesquisa alemã, existiam algumas recomendações para a implementação desse modelo de produção:

1. Normalização e referência arquitetural – dada a abrangência da indústria 4.0, faz-se necessária a padronização e a arquitetura de modelos, especificações e características para os projetos.

2. Infraestrutura de comunicação para o setor industrial – para que haja troca de informações, deve haver comunicação no setor que possibilite a sua transmissão de forma rápida e segura.

3. Segurança da informação – dada a integração em rede que prevê a indústria 4.0, é importante que haja políticas de segurança para combater acessos, vazamentos de informações ou sabotagens.

4. Reorganização do trabalho – o monitoramento e mudanças em tempo real de processos serão realizados por decisões gerenciais. Portanto os colaboradores deverão ter tomadas de decisão, mas não somente recepção de orientações. Deverão ser elaborados treinamentos e aprendizagem contínua.

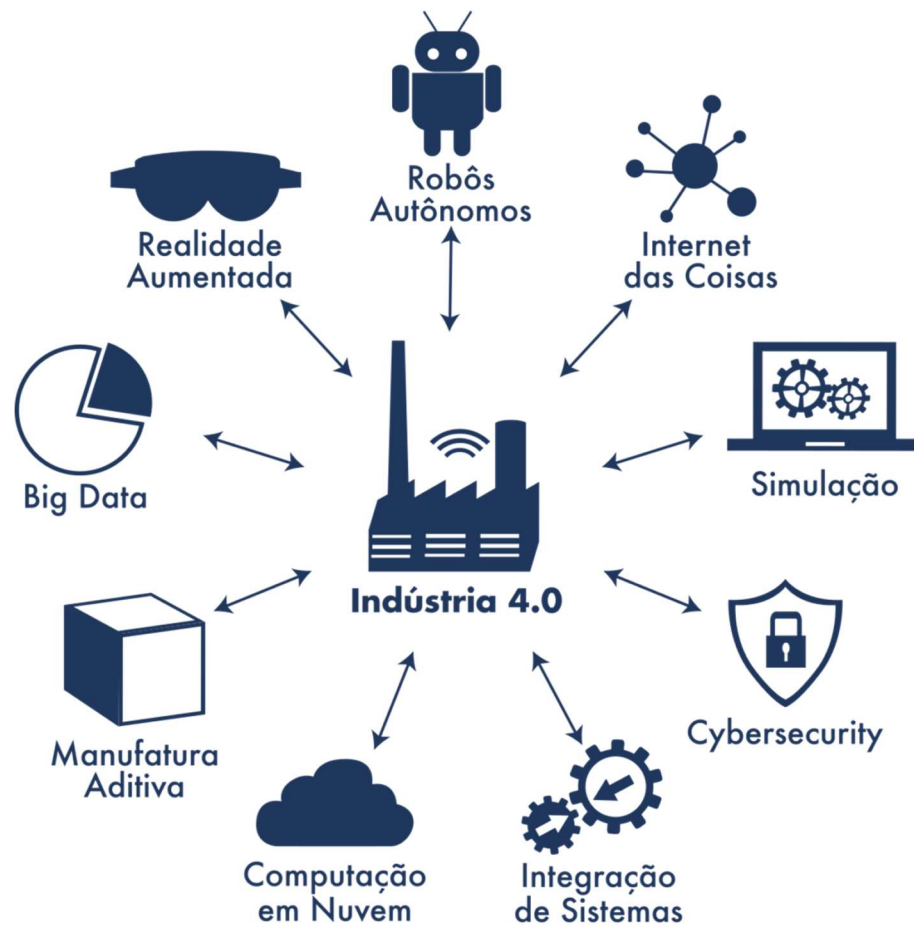
5. Regulamentação – os processos e negócios gerados pela Indústria 4.0 devem ser pautados em leis. Há necessidade de se entender as responsabilizações, criar mecanismos para preservar a intelectualidade e a confidencialidade das pessoas.

6. Utilizar os recursos efetivamente – para que a Indústria 4.0 seja competitiva, deve estar sempre se desenvolvendo em função da redução de custos, uso eficiente de energia e matéria prima, preservando o meio ambiente.

2.4.1 Pilares da Indústria 4.0

São nove os suportes da filosofia da Indústria 4.0. Trata-se de tecnologias já em usos capazes de, quando introduzidas no processamento, atingir o patamar 4.0 (Figura 7).

FIGURA 5: Pilares da Indústria 4.0



Fonte: DIAS (2021)

Segundo Cardoso (2016), tais pilares podem ser descritos da seguinte forma:

1. Internet das coisas (IoT) – o fundamento é a conexão de todos os objetos (ou “coisas”) por meio da internet, que permite uma união entre a rede dos humanos e a rede de objetos. Tal conceito tem uma variada gama de aplicações: é possível, atualmente, controlar pelo celular a temperatura da geladeira, criar lista de compras por meio de despensas inteligentes e a indicação da necessidade de manutenção de uma máquina. A IoT conduzirá uma mudança na maneira de produção, criando uma demanda por objetos inteligentes que exerçam funções do dia a dia.

2. *Big data* – Atualmente a relevância de se possuir informações precisas em tempo ideal é determinante: as empresas que direcionam seu foco para a aquisição de informações de processo, de mercado, de concorrentes ou de parceiros sobrevivem e são mais saudáveis que aquelas que não trilham esse caminho. O termo *Big data* é entendido como o grande volume de dados estruturados – ou não – que

podem gerar *insights* para a tomada de decisão das empresas. *Big data* também pode se referir a um conjunto de tecnologias de armazenagem e processamento de informações, advindas de redes sociais, máquinas, meteorologia, bancos de dados, transações bancárias, atividades *on-line*, padrões de consumo entre outros. Foi entendido pela primeira vez no ano de 2000, quando foi definido por três “V”: volume de dados presentes, velocidade de tráfego de dados e variedade de formatos que podem ser apresentados.

3. Robôs autônomos – esse tipo de robótica pretende uma geração de robôs capazes de operar por repetidas horas sem supervisão de humanos, com autoprogramação. Existem hoje robôs que possuem estrutura de deslocamento, cumprindo papéis diferentes de acordo com a necessidade e operando sem nenhuma gerência. Tem-se como ideal a relação cooperativa máquina-humano e máquina-máquina, uma vez que inteligência artificial permite evitar acidentes e traz inúmeros benefícios como a redução de custo de mão de obra e lotes sob completa medida.

4. Manufatura aditiva – a intenção é explorar novos negócios com soluções customizadas com preço reduzido, atendendo a vários públicos que desejam produtos em lotes pequenos, customizados e com custos baixos. Entende-se a manufatura aditiva hoje como a impressão 3D – fabricação de peças em três dimensões com *design* complexo e tamanhos variados. Aplica-se à produção de inúmeros projetos, como peças de decoração, uso para o lazer até as utilizadas em manufatura de carros de luxo. É caracterizada pela redução do desperdício, já que a sua produção se dá somente pelo comando da fabricação de um novo produto e só usa o material necessário. O que a torna de custo reduzido é o potencial de dispensar moldes, formas ou supervisão para criação dos objetos.

5. Computação em nuvem – trata-se da capacidade de se ter acesso a serviços de tecnologia através de uma conexão de internet. Basta verificar a capacidade que se tem atualmente para acessar aplicativos pelo computador, *tablet* ou *smartphone*. O termo “nuvem” é empregado porque a infraestrutura desses serviços não é visível, pois é de responsabilidade dos provedores de internet. Essa ferramenta é muito empregada para reduzir os custos com aquisição de *softwares* nas empresas, já que se podem criar centrais de dados capazes de produzir, armazenar e processar dados, deixando os funcionários livres para atuar apenas nas atividades relacionadas a sua função.

6. *Cybersecurity* – com a integração dos dados, a possibilidade de ter acesso a centrais de dados e, principalmente, o valor das informações presentes em um processo produtivo, qualquer invasão, vazamento ou acesso a esses sistemas pode levar a grandes perdas econômicas. Antes, o isolamento das redes internas garantia a segurança dos dados, mas atualmente isso já não se verifica: 35% das anomalias no funcionamento das indústrias provêm de invasões cibernéticas. É necessária, portanto, uma rede de proteção que garanta a segurança da informação, muitas vezes denominada firewall.

7. Simulação – o advento da tecnologia permite que façamos ensaios industriais e técnicos por meio de simuladores de realidade. Essa virtualização permite entendermos como funcionariam as operações, movimentos e aprimoramento do processo industrial sem a necessidade de parar a produção para realizar testes ou desperdiçar tempo e dinheiro com projetos pilotos. Além disso, é possível, em fábricas virtuais, a simulação total do processo e prevenir futuros problemas dentro da indústria.

8. Realidade aumentada – a realidade aumentada se refere à capacidade de visualizar o mundo real através de artifícios tecnológicos, como câmeras, sensores etc. Permite melhor capacitação e treinamento de equipes de trabalho, demonstração de funcionamento de máquinas, além da observação de comportamentos fora do padrão.

9. Integração de Sistemas – trata-se da unificação dos sistemas de gerenciamento e controle, permitindo uma maior proximidade da área estratégica da empresa com a área produtiva. Isso permite a melhora na flexibilização da produção e redução de custos e maior competitividade entre as indústrias. A conexão não acontece somente entre a área produtiva e estratégica, mas também abrange a integração das cadeias de fornecedores, logísticas e de consumo, gerando novas possibilidades e mais inovação.

Por fim, podemos destacar uma das evoluções dos pilares da Indústria 4.0 que é a inteligência artificial (IA). Descrita como a capacidade de soluções tecnológicas realizarem tarefas de um modo considerado racional, podendo até “aprender por si mesma”, graças à análise de grandes volumes de dados (*big data*), a IA se propõe a estudar o *Machine Learning*. Segundo Totvs (2019), trata-se de um conceito de ensino segundo o qual as soluções tecnológicas aprendem a realizar atividades de maneira mais eficiente dadas as suas execuções.

3 DISCUSSÃO

A metodologia *Lean* teve seu surgimento no período pós Segunda Guerra Mundial e seu principal objetivo foi uma nova forma de realizar produções em larga escala, evitando desperdício, diminuindo custos e otimizando produção. Esse método de gestão não teve seu início em conjunto com a revolução tecnológica, mas, devido à cultura de melhoria contínua intrínseca desse modelo de gestão, ele vem sendo utilizado até hoje e cada vez mais aperfeiçoado por meio das novas invenções tecnológicas. As revoluções industriais que ocorrem desde seu início permitem a melhora das ferramentas do *lean*, maior facilidade de implantação e a convergência para uma produção com menor custo de produção.

A Indústria 4.0 possui fundamentos e pilares tecnológicos cujos interesses se voltam para uma produção mais enxuta, com alta produtividade e integração do trabalhador com a robótica. As similaridades entre esse conceito e o *lean manufacturing* permitem um intercâmbio entre eles capaz de preparar as indústrias para um caminho cada vez mais tecnológico, enxuto e produtivo.

3.1 Integração *Lean manufacturing* e Indústria 4.0

3.1.1 Cinco princípios do *lean* e a Indústria 4.0

Apesar do distanciamento entre a criação do *lean* e do entendimento da Indústria 4.0 ser de mais de 50 anos, é possível visualizar que ambos convergem para a melhora na produção, a redução de custos atrelada à diminuição de desperdícios, o aumento da produtividade e a valorização da integração de trabalho entre o equipamentos e trabalhadores.

É possível, portanto, a partir dos princípios para uma produção enxuta e dos motivadores para a quarta revolução industrial, a união de conceitos do método de gestão com as novas práticas tecnológicas. A correlação entre os cinco princípios do *lean* e a Indústria 4.0 são listados a seguir:

1. Valor – na filosofia *lean*, há a necessidade de entendimento do valor de seu produto sob o olhar do consumidor. A criação de novas tecnologias, o aumento da digitalização e a fácil comunicação presentes na Indústria 4.0 são responsáveis por

uma definição mais completa do que o cliente enxerga como motivacional para seu consumo. Além disso, o constante recebimento de informações permite entender qual o posicionamento, o faturamento e a fração de mercado que a produção ocupa, permitindo uma maior assertividade na relação de valor dos produtos.

2. Fluxo de valor – com o crescimento da implementação de tecnologias nas linhas de processo, visualiza-se mais rápida e facilmente quais etapas são cruciais para a geração de valor dos produtos. Através da internet, da integração de sistemas e até de realidade aumentada, é quebrada a barreira de dificuldade de mapeamento de processos.

3. Fluxo – na metodologia *lean*, espera-se que os processos ocorram de maneira a atender facilmente as necessidades do mercado no menor tempo possível e com estoque mínimo necessário. As tecnologias provenientes da Indústria 4.0 certamente serão capazes de informar de maneira mais rápida qualquer mudança na demanda, permitindo correções em tempo real na linha de produção, maior integração entre pedidos e produção e mudança nas necessidades dos clientes.

4. Produção puxada – entende-se a produção puxada como o trabalho de acordo com a demanda do cliente; a manufatura aditiva é uma evolução desse princípio do *lean*, já que a fabricação depende exclusivamente de um comando digital, baseado em um pedido de cliente.

5. Perfeição – considerada por muitos o motivador do *lean*, a busca pela perfeição pode ser facilmente impulsionada pela tecnologia. A integração de sistemas, processos, automatização e digitalização serão responsáveis por uma produção controlada, sem excessos ou desperdícios e preditiva.

3.1.2 Os desperdícios e as tecnologias 4.0

O *Lean manufacturing* tem como principal objetivo a produção enxuta, com eliminação dos desperdícios. No início deste trabalho, foram elencados os principais tipos de desperdícios de que trata a filosofia *lean*; nesta seção, iremos correlacionar tais desperdícios com as tecnologias provenientes da indústria 4.0. Ao se analisar um processamento impróprio, podem-se apontar algumas tecnologias capazes de ajudar na redução do desperdício: robôs autônomos, simulação, manufatura aditiva, *big data* e IoT.

Os robôs autônomos são capazes de realizar funções únicas e programadas somente para atender o necessário para agregação de valor ao produto, logo não há espaços para reprocessamento ou para gasto de tempo com atividades que não geram valor. Por meio do *big data*, podemos entender os hábitos dos consumidores, analisar a sazonalidade de produção, o apetite de mercado e qual capacidade se deve ter para produzir atendendo às necessidades do consumidor final sem excessos na fabricação. A simulação permite que se quantifique o quanto a produção de um produto será afetada por alguma alteração na linha antes de um acréscimo de matéria-prima, ou de alguma mudança no processo, se haverá excessos na produção ou não. A manufatura aditiva é caracterizada pela produção enxuta apenas para o atendimento do pedido de clientes, evitando a superprodução. A internet das coisas pode ser eficaz na contenção da fabricação excessiva por meio da sua demonstração em tempo real, além de ser capaz de emitir comandos de interrupção. Por fim, os robôs autônomos podem possuir comandos de contagem de produção, determinando se deve haver ou não uma pausa no processo.

Estoque é um desperdício que também deve ser minimizado, caso seu crescimento seja maior que a demanda dos consumidores. As tecnologias de *big data*, manufatura aditiva, simulação e integração de sistemas podem agir de forma a produzir um estoque cada vez mais adequado de acordo com a demanda. Sob a ótica de *big data*, é possível realizar análises que preveem um aumento ou supressão da demanda, tornando sua produção mais preparada para eventuais mudanças. Aliado à simulação, permite a criação de diversos cenários e a predição das ações que devem ser tomadas. A integração de sistemas associa a saída de produto para venda com a entrada de matéria-prima para a produção, fazendo com que o estoque não seja afetado independente do fluxo de consumo ou venda do produto. Por fim, pode-se entender que a manufatura aditiva é um método de produção que possui estoque zero, já que sua produção é demandada diretamente de um consumidor, sendo assim, mais enxuta possível.

A espera – um desperdício associado ao tempo gasto em atividades que não estão gerando valor – pode ser tratada com a internet das coisas e a integração dos sistemas com os quais é possível que a produção seja realizada de maneira contínua, de forma a não existir superprodução em uma etapa, gerando um gargalo em outra. Dessa forma, aliando a integração dos sistemas com a IoT, a produção pode ser adaptada de modo que o tempo desperdiçado entre etapas seja praticamente nulo.

O desperdício no transporte associado à movimentação excessiva e desnecessária para a geração de valor do produto pode ser combatido com a integração de sistemas, cujo conceito visa não só à proximidade da parte tática e operacional com a estratégica da indústria, mas também à integração logística. Assim, é possível a elaboração de procedimentos de movimentação, evitando excessos e permitindo o foco somente em transportes essenciais à produção.

O retrabalho pode ser combatido através de quase todas as tecnologias da indústria 4.0. A começar pelos robôs autônomos que, com a inteligência artificial, podem prever erros na linha de produção, seguidos pela simulação, que permite entender o que uma mudança no processo trará como resultado, pela integração de sistemas, a qual impede que peças com defeitos de uma etapa prévia sejam processadas, e, finalmente pelo *big data*, que possibilita entender e analisar, através de dados, situações que causam reproprocessamento e, conseqüentemente, a tomada de ações que evitem a sua recorrência.

O desperdício que pode ser mais evitado com a introdução de tecnologias é o do conhecimento, o qual, com a digitalização, pode ser difundido de forma mais fácil e ágil, evitando que a informação detida pelos colaboradores seja dissipada com a saída deles. Além disso, a realidade aumentada torna os treinamentos mais efetivos, uma vez que ela é capaz de simular a realidade do processo sem que o colaborador esteja operando, permitindo ao gestor a atribuição adequada das responsabilidades de acordo com as aptidões dos funcionários.

3.1.3 Ferramentas do *lean* e Indústria 4.0

3.1.3.1 *Kaizen*

Das motivações iniciais do *kaizen*, há a necessidade de conhecimento do consumidor, de estar fisicamente presente no processo e de ser transparente nas decisões, utilizando sempre dados para embasar as teorias. A partir disso, apresenta-se a seguir como as motivações do *kaizen* se relacionam com a indústria 4.0.

1. Conhecer o consumidor – como já citado neste trabalho, a digitalização permite a obtenção de dados do cliente em tempo real, logo é possível ter maior assertividade sobre o que possui valor para ele.

2. Estar fisicamente no processo – um dos principais motivadores do *kaizen* é que o valor do processo está nele, portanto a presença física na linha de produção é determinante para entender como a manufatura é conduzida. Com a integração de sistemas, IoT e internet industrial, torna-se possível monitorar o processo o tempo todo, sem necessariamente estar fisicamente presente.

3. Transparência – com o aumento da capacidade de processamento dos computadores e o advento da big data, somos capazes de embasar ainda mais nossas análises e decisões através dos dados.

Com o entendimento das motivações do *kaizen* e da indústria 4.0, é possível afirmar que essa ferramenta pode ser a porta de entrada da tecnologia nas indústrias. Ao observar a definição dessa filosofia presente no *lean*, compreende-se que se trata de melhorias realizadas pela empresa num esforço contínuo, que trazem mudanças disruptivas e melhorias a longo e curto prazo.

3.1.3.2 Jidoka

A tecnologia pode ser crucial para a melhoria da efetividade e agilidade do *jidoka*. Suas quatro etapas – descoberta de uma anormalidade, parada na produção, correção do problema e investigação da causa – podem receber contribuições ímpares.

O emprego de robôs na descoberta de uma anormalidade – primeira etapa – é um subsídio importante: programá-los para checar anormalidades e, por meio do avanço da inteligência artificial, prevê-las, é um avanço significativo nesse processo de identificação de problemas.

Na próxima fase – parada na produção –, ferramentas como a IoT e a integração de sistemas diminuem o tempo entre a parada e a identificação de um problema, além de se condicionar a parada total ou parcial de um processo a uma identificação de anormalidade. Mais do que tais procedimentos, pode-se utilizar da IoT para convocar a equipe de manutenção, por exemplo, evitando um desperdício de tempo entre a parada e a correção do problema. As tecnologias de IoT, para documentar uma parada, e de *big data*, para identificação de principais fontes do problema, podem ser empregadas para a solução desse tipo de pausa no futuro.

A Novidá, uma *startup* brasileira que utiliza de IoT e inteligência artificial nas suas soluções, possui um *case* de sucesso em conjunto com a fábrica da FCA, onde a aplicação de internet das coisas reduziu os tempos de parada da fábrica. Inicialmente, os gestores da fábrica perceberam que havia um grande período de ociosidade quando encontrado um defeito nos robôs. Diante disso a Novidá incorporou a internet das coisas no processo, de forma que, toda vez que acontecesse uma parada, um sinal *wi-fi* com o tipo de parada e defeito era mandado em nuvem para um sistema, que abria uma ordem de tarefa com o técnico responsável mais próximo através de seu *smartwatch* para a resolução. Além disso, o tempo de execução foi monitorado, permitindo assim, entendimento de qual técnico de manutenção demorava mais para solucionar cada tipo de problema e, assim, alimentando a inteligência artificial para tomada de decisão de qual funcionário seria convocado na próxima parada. Os resultados obtidos através da incorporação de tecnologia na fábrica foram tais que um tempo de resposta que demorava em torno de 15 minutos, passou a demorar 90 segundos, ocasionando uma melhora na produção de seis carros a mais a cada parada em relação ao padrão anterior (NOVIDÁ, 2021).

3.1.3.3 Kanban

A utilização do *kanban* data desde 1960, sendo ele responsável até hoje pela visualização dos processos e controle de atividades nas indústrias. Porém, com a ampla difusão da tecnologia e da indústria 4.0, pensa-se em alternativas capazes de permitir que essa ferramenta se torne mais digital, enquanto seu método tradicional, manual, acaba perdendo espaço.

A forma mais digital do *kanban* é conhecida por *e-kanban* que substitui as formas mais tradicionais de elaboração manual por painéis digitais, incorporando *softwares* de gestão. Também existem hoje *softwares* de *kanban on-line*, como o *Trello*.

O *e-kanban* traz vantagens, por ser integrado com sistemas de gestão, permitindo, assim, uma administração que vise a metas, objetivos e atividades realizadas de maneira mais rápida e fluida. Também se pode atrelar a inteligência artificial para sugerir ordens de execução de atividades ou de criação de novas etapas. Por fim, sendo um *kanban* dotado de inteligência, há a possibilidade de trazer mais

dinamismo às atividades, permitindo um cálculo em tempo real de percentual de atingimento, distância para o objetivo e tempo para realização.

Uma outra forma de se digitalizar o *kanban* é através de *softwares* disponíveis na internet capazes de simular um *kanban* manual, porém interativo e que seja visto de qualquer lugar. Foi assim que surgiu o *Trello*, um *software* de gestão de projetos que simula o *kanban* para solução de problemas. Seu recurso é tão difundido, que hoje ele possui mais de 25 milhões de usuários cadastrados em sua plataforma (TRELLO, 2017).

3.1.3.4 Poka yoke

A ferramenta *poka yoke* surge para ser enxuta; com dispositivos e procedimentos, previne erros e desperdícios em um processo. Para isso, tem como principal objetivo eliminar as causas geradoras, ou gerar um alerta ou pausa na produção, evitando o reprocessamento ou processamento indevido.

A combinação das ferramentas da Indústria 4.0 com o ideal de prevenção de erros do *Lean manufacturing* permite que todos os tipos de *poka yoke* – regulagem e detecção – sejam mais precisos e inteligentes. No *poka yoke* de detecção, a internet das coisas emite um sinal direto para os trabalhadores, os gestores e também para outros equipamentos de uma área, quando é detectado algo não conforme, o que significa uma melhoria na velocidade da ferramenta de detecção de problemas.

O emprego da inteligência artificial como principal pilar de melhoria do *poka yoke* de regulagem torna a ferramenta mais precisa e eficaz, já que a máquina pode aprender com os desvios e regular o processo cada vez que identificar uma não conformidade.

3.1.3.5 Just in time

A manufatura aditiva, um dos pilares da indústria 4.0, baseia-se na produção de lotes pequenos de produção, com alta especificidade e baixo custo, já que possui praticamente estoque zero e chances remotas de defeitos. Além desse conceito, ela está baseada na produção necessária para o atendimento de uma demanda. Por outro lado, o *Just in time*, conceito do *lean*, tem também como principal objetivo o alinhamento da produção com a demanda dos fornecedores, mantendo um estoque

suficiente para suprir a necessidade, sem altas estocagens. Nota-se, portanto, que a motivação da filosofia *just in time* e a da manufatura aditiva são as mesmas: produzir o necessário para atender à demanda do cliente, evitando desperdícios como superprodução ou estocagem. Evidencia-se, então, a convergência dessas filosofias, pois partem da mesma motivação e têm o mesmo objetivo compartilhado, a produção cada vez mais enxuta.

3.1.3.6 TPM

Os pilares da indústria 4.0 provêm da utilização de novas tecnologias com o principal objetivo de melhorar a produção, diminuir recursos e aumentar a produtividade. Olhar para a manutenção produtiva total – TPM – é encarar uma das ferramentas capazes de garantir esses pilares, já que prevê a redução de desperdícios e o aumento da produtividade (evitando paradas desnecessárias nos equipamentos). Apesar da distância de elaboração dos conceitos, eles possuem uma grande sinergia, já que todos os pilares tecnológicos estão sujeitos a defeitos, paradas e manutenção. Sob esse ponto de vista, afirma-se que a TPM pode atuar de três principais formas em conjunto com as tecnologias:

1. Rotinas de manutenção pré-programadas – com a inclusão de tecnologias como a internet industrial e IoT, pode-se atribuir a responsabilidade de pausas à manutenção por meio de comandos pré-definidos, permitindo o retorno ao processamento somente após a realização do procedimento. Isso evitará a negligência de paradas e contribuirá para um processamento cada vez mais fluido e sem pausas para ajustes de defeitos.

2. Máxima produtividade – com a inserção de manutenções pré programadas, haverá manutenções constantes, que evitarão paradas ocasionadas por defeitos, consequentemente aumentando o ritmo da produtividade.

3. Segurança – realizando a TPM de maneira recorrente, acidentes ocasionados por equipamentos mal regulados ou com defeito tornar-se-ão cada vez mais escassos.

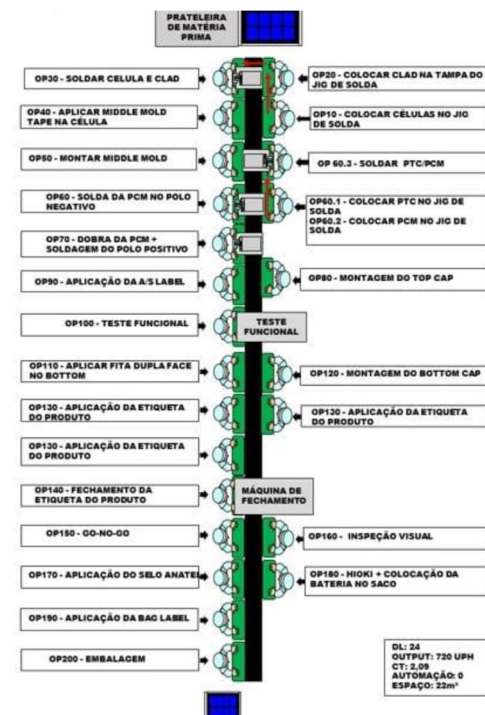
3.2 Aplicações da intersecção *lean* com a indústria 4.0

3.2.1 Linha de produção de baterias para *smartphone*

No XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ocorrido em 2017, foi apresentado um estudo sobre a implantação da metodologia *lean* em conjunto com a Indústria 4.0, com o objetivo de melhorar a produtividade e reduzir custos. Nele foram identificados dois grandes gargalos – movimentos desnecessários dos colaboradores e matéria-prima e desperdício de tempo, provocado por esses fluxos, e o decorrente acúmulo de produto a ser processado de etapa para etapa do processo. A implantação das tecnologias 4.0 para sanar esses problemas mostrou-se eficaz e provocou a melhoria contínua do processo. (MURAYA, FILHO e CARDOSO, 2017)

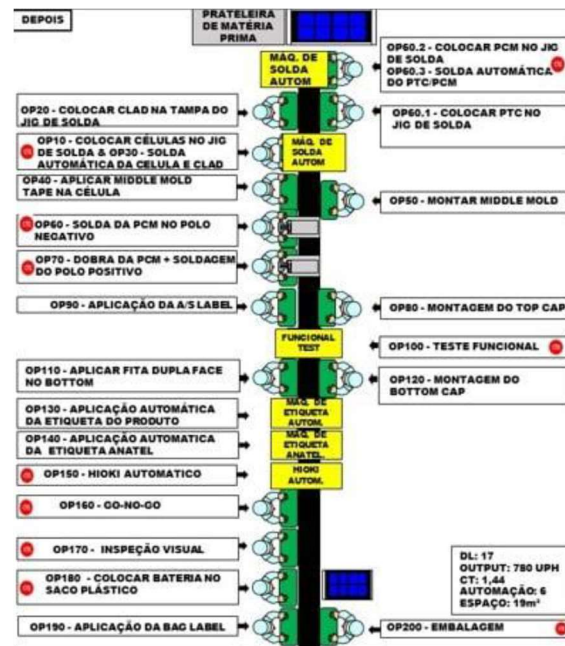
Identificados os problemas principais da linha de produção, realizou-se um remapeamento do processo, aquisição de equipamentos, adaptação do *layout* da planta e a criação de procedimentos operacionais padrão (Figura 8).

FIGURA 8: Processo Antes da Modificação



Fonte: Muraya, Filho e Cardozo (2017)

FIGURA 6: Processo pós modificação



Fonte: Muraya, Filho e Cardoso (2017)

Ao se comparar os dois fluxogramas de processo – figuras 8 e 9 –, evidencia-se que a automação e a criação de um modelo *lean* no qual não existam mais esperas e paralisações no fluxo do processo geram mais fluidez na produção, reduzindo o número de atividades necessárias e melhorando a sua execução.

Para acompanhar os resultados da implantação, foram analisados os indicadores de volume da produção, espaço utilizado e mão de obra alocada. De acordo com o estudo, o aumento no volume da produção foi de 8%; a mão de obra alocada foi 29% menor, e o espaço utilizado para produção, de 14%. Além disso, houve uma redução de 23% no custo da produção. Esse trabalho permitiu que a empresa fizesse mais com muito menos, graças ao emprego da filosofia *lean* e a introdução de equipamentos automáticos, capazes de melhorar o desempenho, reduzir o reprocessamento e direcionar os operadores para atividades que agregavam mais valor ao produto. Para ilustrar, cita-se aqui uma comparação: na operação manual prévia, havia necessidade de dois operadores para produzir um volume de 978 peças por hora, enquanto o processo automático foi capaz de produzir 1250 peças com somente um operador (MURAYA, FILHO e CARDOSO, 2017).

Essa melhoria foi tão significativa para a empresa, que lhe permitiu a criação de quatro novas linhas de produção – com sistemáticas idênticas às do objetivo do

estudo – e tornou-se padrão nas construções de novas plantas dessa indústria (MURAYA, FILHO e CARDOSO, 2017).

3.2.2 Case Boticário

Uma aplicação interessante do *lean* com as tecnologias 4.0 ocorreu no Grupo Boticário. A empresa, conhecida pela produção de cosméticos e perfumes, é a maior rede de franquias do Brasil (SEBRAE, 2020), porém possuía o problema na sua linha de produção, a má alocação dos funcionários, demandando um grande tempo de resposta dos colaboradores, considerado um desperdício dentro da metodologia *lean*. A principal dificuldade identificada no mapeamento da produção era a falta de visibilidade e confiabilidade dos dados de operação e da alocação da hora-homem nas linhas, tornando assim a tarefa de alocação de equipes algo dinâmico, manual e impossível de ser otimizada (NOVIDÁ, 2020).

A empresa atuou de forma a mapear os operadores com IoT, integrando sensores espalhados pela empresa, trazendo uma maior visibilidade da alocação dos homens na linha de produção, o que lhe permitiu, então, remapear a divisão dos funcionários, garantindo a melhor execução e divisão de trabalho possível. Também utilizando a solução de um *software* capaz de mostrar os indicadores em tempo real, extraídos de forma automática, foi capaz de possibilitar uma maior confiança nos dados de produtividade e, assim, trazer assertividade no reporte da produção (NOVIDÁ, 2020).

Como demonstrado no estudo, a Boticário teve, como resultado, 99% de assertividade nos principais indicadores analisados, redução do tempo de resposta dos trabalhadores de 10 minutos para 15 segundos, e diminuição de 40% nas despesas operacionais por unidade produzida.

3.2.3 Case de detecção de problemas em produtos e processos por *big data*

Duarte (2018) relatou o caso de uma empresa que desenvolveu um componente que detectava e analisava os dados de vibração de qualquer equipamento. Ao utilizar a frequência de vibração em conjunto com *big data* e inteligência artificial com o intuito de determinar padrões de vibração – normal e especiais – possibilitou aos operadores receber um comando informativo sobre a

produção, ou até mesmo interrompê-la. Constitui, portanto, uma melhoria de uma ferramenta muito comum do *lean*, o *poka yoke*.

Esse componente, um misto da indústria 4.0 com as ferramentas *lean*, pode ser adaptado para diversos usos, como em esteiras de movimentação, na geração de energia eólica e hidrelétrica, em testes de qualidade de motores, de chapas de ferro entre outros.

3.2.4 Sugestão de uso: separação de materiais

Uma atividade muito utilizada em todos os tipos de indústria é a separação de materiais, sejam eles metais, plásticos, produtos orgânicos ou até mesmo lixo. Antigamente, esses processos eram realizados de maneira manual, porém foi possível perceber que a autonomia dada aos trabalhadores para realizar a separação dos materiais muitas vezes estava atrelada a uma grande margem de erro humano. Isso foi solucionado com robôs programados, que podem separar os materiais através de uma faixa de limites que, muitas vezes, torna-se um ponto de subjetividade, já que existem materiais fora dessa faixa de limites que estariam dentro da especificação, e até produtos que entrariam e talvez estivessem fora de especificação, ocasionando grandes perdas para a produção.

Uma solução da Indústria 4.0 para esse tipo de problema seria a implementação de robôs que possuem visão e inteligência artificial, os quais seriam capazes de identificar defeitos pelos limites, e de robôs pré programados e treinados para a aprendizagem com os erros, permitindo, assim, maior assertividade na separação e, conseqüentemente, menor desperdício de matéria-prima, evitando o processamento de produtos fora da especificação, produzindo mais com menos: a alma da filosofia *lean*.

3.2.5 Sugestão de aplicação na indústria alimentícia: redução de desperdício em pasteurizadores

O processo de pasteurização consiste em um tratamento térmico do produto, que visa à eliminação de microrganismos – como por exemplo os patogênicos – que possuem sensibilidade à temperatura que não ultrapasse 100°C durante um período

de tempo não superior a 30 minutos, para evitar a perda de alguma qualidade do produto (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2012).

Esse processo de tratamento térmico está presente principalmente na indústria alimentícia como, por exemplo, na produção de leite e de suco de laranja. A efetividade da pasteurização depende do tempo e da temperatura a que o produto ficou submetido, principais indicadores do sucesso da pasteurização.

Um tipo de desperdício do *lean* é o processamento sem agregar valor ao produto, que podemos estender para o processo de pasteurização: o desperdício estaria em expor o produto por mais tempo que o necessário dentro do equipamento.

A tecnologia da Indústria 4.0 é capaz de solucionar desperdícios desse tipo por meio da ferramenta *poka yoke* de regulação agregada a IoT e *big data*. Como já explicitado neste trabalho, é possível identificar padrões de erro e acerto através de *big data* e criar referências de tempo de residência e temperatura dentro do equipamento que possa tomar atitudes corretivas quando houver qualquer indício de produção fora da especificação.

Essa solução irá além de otimizar o processo para evitar desperdícios de super processamento e tempo, ser responsável por evitar a produção de lotes fora da especificação que, se comercializados, podem causar um dano econômico à empresa e um impacto na saúde da sociedade consumidora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a elaboração deste trabalho, foi possível o entendimento de que, apesar de a metodologia *Lean Manufacturing* ter sido criada em um contexto de extrema escassez de recursos produtivos e demanda, enquanto a Indústria 4.0 foi concebida em um cenário de grande disponibilidade de recursos e grande apetite por consumo, ambas convergem para um mesmo ponto: o aumento da produtividade, a redução de desperdícios e a melhoria da gestão de conhecimento. Além disso, foi possível estabelecer a correlação entre os princípios da produção enxuta e as tecnologias que embasaram a quarta revolução industrial, sendo que, em alguns casos, como o da manufatura aditiva, a tecnologia é uma representação do ideal do pensamento *lean*.

Entendida a convergência, verifica-se, pelos resultados dos casos de uso, o quão impactante foi a utilização da intersecção das duas filosofias para as empresas. Por meio de indicadores, a união da tecnologia com a produção enxuta é realmente capaz de reduzir o volume de processos, agregar mais valor, produzir mais e minimizar os desperdícios. Mais do que uma forma de integrar valor diretamente ao processo, o método *lean* pode ser utilizado para inserir a tecnologia dentro das empresas, iniciando um movimento de modernização que, muitas vezes, esbarra no conservadorismo.

Em suma, o papel da tecnologia em conjunto com o *lean* na indústria mostra que temos um grande potencial de melhora na nossa produção e, mais do que isso, demonstra um cenário no qual empresas e profissionais que não se adaptarem a essa mudança tecnológica de maneira rápida irão ter extrema dificuldade para continuar inseridos no mercado.

Quanto às empresas, demonstrou-se o valor que um projeto é capaz de agregar a uma linha de produção, aumentando o volume produzido e diminuindo o custo, o que acarreta maiores margens de lucro com menores preços praticados, levando-a a ganhar cada vez mais espaço no mercado.

Os profissionais que não se adaptarem a essa mudança possivelmente terão os mesmos destinos que as empresas, já que a inserção em um mercado de trabalho cada vez mais tecnológico fica mais distante para pessoas que não entendem de tecnologia. O engenheiro químico, por ter uma formação com base também em tecnologia e em métodos de gestão, vislumbra um futuro para a atuação em empresas

que já se adaptaram a essa realidade e também naquelas que ainda não promoveram tais modificações.

Tanto o *Lean manufacturing* quanto a Indústria 4.0 possuem alto grau de complexidade e um volume muito grande de conceitos dos quais apenas uma fração foi apresentada neste estudo, daí a necessidade de continuação da abordagem aqui realizada, além de que há ainda a possibilidade de melhoria contínua nessas filosofias. Seria interessante o entendimento de como outras ferramentas do *lean* convergem com as tecnologias da Indústria 4.0 e como a tecnologia pode evoluir com os conceitos do *lean*. Poderíamos também entender como outros métodos de gestão ainda muito utilizados nos dias de hoje irão conversar com a tecnologia, como, por exemplo, o Seis Sigma, método Falconi, entre outros.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. O Sistema Just In Time Reduz os Custos do Processo Produtivo. **Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos**, Campinas, 20 Outubro 1995. 35.
- ANDERSON, D. J.; CARMICHAEL, A. **Kanban Essencial Condensado**. 1. ed. Seattle: Lean Kanban University, v. Online, 2016.
- CARDOSO, M. D. O. **Indústria 4.0 : A Quarta Revolução Industrial**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, p. 45. 2016.
- CARVALHO, R. Os Cinco Princípios da Mentalidade Enxuta. **LinkedIn**, 2018. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/os-cinco-princ%C3%ADpios-da-mentalidade-enxuta-reginaldo-carvalho/>>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- COUTINHO, T. Voitto. **Sita da Voitto Treinamentos**, 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/lean-manufacturing/>>. Acesso em: 28 jan. 2021.
- DIAS, G. M. O que é Indústria 4.0. **Doutor IoT**, 2021. Disponível em: <<https://www.doutoriot.com.br/negocios/industria-40/o-que-e/>>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- DUARTE, T. Industria 4.0. **Industria 4.0**, 2018. Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/artigo/16512-5-casos-de-usos-de-industria-40-que-mudara-sua-percepcao>>. Acesso em: 23 jun. 2021.
- ENDEAVOR BRASIL. Endeavor. **endeavor.org**, 2015. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/operacoes/kaizen/>>. Acesso em: 04 jun. 2021.
- FM2S EDUCAÇÃO E CONSULTORIA. **Introdução ao Lean**. 1. ed. Campinas: FM2S, v. 1, 2021.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO. FIA. **fia.com.br**, 2019. Disponível em: <<https://fia.com.br/blog/lean-manufacturing/>>. Acesso em: 17 ago. 2021.
- GHINATO, P. **Jidoka: Mais do que Pilar da Qualidade**. Lean Way Consulting. São Paulo, p. 11. (3).
- IBERDROLA SA. **iberdrola.com**. **Iberdrola**, 2021. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/inovacao/quarta-revolucao-industrial>>. Acesso em: 07 jun. 2021.
- KAIZEN INSTITUTE. Kaize Institute. **kaizeninstitute.com**, 2020. Disponível em: <<https://www.kaizen.com/what-is-kaizen.html>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

LEAN BLITZ CONSULTING. Lean Blitz. **Lean Blitz Consulting**, 2011. Disponível em: <<http://leanblitzconsulting.com/what-is-lean/>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Jidoka. **Gestão da Produção**, São Paulo, 30 ago. 2006. 1.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Lean Institute Brasil. **Lean.org**. Disponível em: <<https://www.lean.org.br/conceitos/78/muda,-mura,-muri---tipos-atividades-que-geram-desperdicios.aspx>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

LEAN IT. Lean IT. **Leanit.com.br**, 2019. Disponível em: <<https://www.leanti.com.br/conceitos/5/Os-5-principios-do-Lean-Thinking.aspx>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

LEAN IT. Lean IT. **leanti.com.br**, 2020. Disponível em: <<https://www.leanti.com.br/conceitos/13/O-que-e-Jidoka.aspx>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MURAYA, R. C. B.; FILHO, J. C. R.; CARDOSO, M. A. P. APLICAÇÃO DO LEAN MANUFACTURING E ESTRUTURAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 EM UMA LINHA DE BATERIAS PARA SMARTPHONE. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Joinville, 13 out. 2017. 16.

NEVES, J. M. O Sistema Just In Time Reduz os Custos do Processo Produtivo. **Congresso Brasileiro de Gestão Estratégia de Custos**, Campinas, 15 Outubro 1995. 35.

NOVIDÁ. Novidá. **Novidá**, 2019. Disponível em: <<https://www.novida.com.br/blog/heijunka/>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

NOVIDÁ. Conteúdo Novida. **Case Boticario Detalhado**, 2020. Disponível em: <https://conteudo.novida.com.br/case_boticario_detalhado>. Acesso em: 23 jun. 2021.

NOVIDÁ. Case de Sucesso Novidá. **Novidá**, 2021. Disponível em: <<https://www.novida.com.br/blog/jidoka/>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

NUNES, L. Voitto. **voitto.com.br**, 2019. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/heijunka>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

PORTAL DA INDÚSTRIA. Portal da Indústria. **Portal da Indústria**, 2020. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/#o-que-e>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Portal São Francisco. **Portal São Francisco**, 2012. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/pasteurizacao>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

QUALYTEAM. Blog Qualyteam. **Qualyteam.com**, 2021. Disponível em: <<https://qualyteam.com/pb/blog/kaizen-e-kaikaku-entenda-as-diferencas/>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

RODRIGUES, M. V. **Sistema de Produção Lean Manufacturing**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, v. I, 2014.

ROYER, R. Manutenção Produtiva Total: Implementação em uma Empresa da Região Sul do Brasil. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador, 09 out. 2009. 12.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1ª. ed. São Paulo: Edipro, v. 1, 2016.

SEBRAE. SEBRAE SP. **SEBRAE**, 2020. Disponível em: <[https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/df/noticias/ranking-com-as-50-maiores-franquias-do-brasil-em-](https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/df/noticias/ranking-com-as-50-maiores-franquias-do-brasil-em-2020,36b6c4938b2ff610VgnVCM1000004c00210aRCRD)

2020,36b6c4938b2ff610VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SEBRAE. **Guia Completo para definir metas SMART pós-pandemia**. SEBRAE. Pernambuco, p. 18. 2021.

SILVEIRA, C. B. citisystems. **citisystems.com.br**, 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

SIMÕES, M. Q. M. et al. Proposta para Desenvolvimento de Dispositivos de Prevenção Contra. **XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção**, Porto Alegre, 29 nov. 2005. 8.

TADASHI, O. Lean Institute Brasil, 2006. Disponível em: <[https://www.lean.org.br/artigos/109/sobre-o-nivelamento-\(heijunka\).aspx](https://www.lean.org.br/artigos/109/sobre-o-nivelamento-(heijunka).aspx)>.

TOTVS. TOTVS BLOG. **TOTVS**, 2019. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/inovacoes/o-que-e-inteligencia-artificial/>>. Acesso em: 22 jun. 2021.

TOYOTA MOTOR CORPORATION. Toyota Corporation. **Global Toyota**, 2020. Disponível em: <https://global.toyota/en/company/?padid=ag478_from_header>. Acesso em: 15 dez. 2020.

TRELLO. Trello. **Blog Trello**, 2017. Disponível em: <<https://blog.trello.com/br/25-milhoes-de-usuarios>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

VOITTO TREINAMENTOS. Voitto. **voitto.com.br**, 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/8-desperdicios-lean>>. Acesso em: 02 maio 2021.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking**. 1. ed. Nova Iorque: Free Press, v. 1, 2003.