

A INDÚSTRIA 4.0 COM A PERSPECTIVA LEAN

INDUSTRY 4.0 WITH PERSPECTIVE LEAN

Luiz Ricardo Rosa Junior

Bacharel em Engenharia de Produção pela FIB Bauru; luiz.rj@hotmail.com

Vitor Jacobini Sardinha

Bacharel em Engenharia de Produção pela FIB Bauru; vitorjacobinisardinha@gmail.com

Raquel Teixeira Campos

Docente do curso de Engenharia de Produção da FIB Bauru; raquel.tcampos@hotmail.com

RESUMO

O atual cenário global de manufatura está mudando rapidamente com a crescente demanda mundial por produtos melhores, mais inovadores, de valor agregado e satisfatórios. Portanto, o sistema industrial e de fabricação deve se erguer para enfrentar esses desafios e satisfazer o apetite dos consumidores em todo o mundo pelos produtos de forma eficiente. A criação de valor das indústrias transformadoras deve ser orientada para uma maior eficiência e produtividade. A Indústria 4.0 se propõe a levar as capacidades de fabricação para o próximo nível, o quarto estágio da revolução industrial. Este artigo revisa a literatura sobre a iniciativa indústria 4.0 e se propõe a identificar os exemplos de artigos altamente citados. Posteriormente, foi também apresentada uma revisão do impacto das tecnologias da Indústria 4.0 na eficácia do *Lean Manufacturing*, e em particular, na eliminação de diferentes desperdícios em um processo produtivo. Fica claramente estabelecido a partir deste exercício de revisão e avaliação que há muito potencial para o ambiente da Indústria 4.0 melhorar ainda mais a eficácia das iniciativas de *Lean Manufacturing* para aumentar a eficiência e a produtividade dentro das indústrias.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta. Quarta Revolução Industrial. Sistemas Inteligentes de Produção. Eliminação de Desperdícios.

ABSTRACT

The current global manufacturing landscape is rapidly changing with increasing worldwide demand for better, more innovative, value-added and satisfying products. Therefore, the industrial and manufacturing system must rise to meet these challenges and satisfy consumers' appetite all over the world for the products efficiently. The value creation of manufacturing industries must be geared towards greater efficiency and productivity. Industry 4.0 sets out to take manufacturing capabilities to the next level, the fourth stage of the industrial revolution. This article reviews the available literature on the industry 4.0 initiative and aims to identify examples of highly cited articles. Subsequently, a review of the impact of Industry 4.0 technologies on the effectiveness of *Lean Manufacturing* was also presented, and in particular, on the elimination of different wastes in a production process. It is clearly established from this review and assessment exercise that there is much potential for the Industry 4.0 environment to further improve the effectiveness of *Lean Manufacturing* initiatives to increase efficiency and productivity within industries.

Keywords: Cyber Physical Systems. Elimination of Waste. Internet Of Things. Enabling Technologies.

1. INTRODUÇÃO

Devido à grande concorrência nas últimas décadas do mercado industrial a implantação de tecnologia, automação de processos e redução de desperdícios vem gerando um diferencial no mercado, essa transição dos procedimentos mecânicos para a inteligência artificial e Sistema de Produção *Cyber-Física* (CPPS) já é uma realidade na indústria 4.0.

A indústria 4.0 é uma revolução nos sistemas de produção, onde temos a junção da internet das coisas (IoT) com sistemas *cyber-físicos* e *big data* realizando uma interconexão com *softwares*, sensores e atuadores promovendo informações e agregando valor nos processos de fabricação (BAHRIN *et al.*, 2016). Mesmo com a implantação de novas tecnologias no sistema de produção, ainda é necessário o uso de metodologias já existentes para atingir excelência no processo.

De acordo com Sturion *et al.* (2020), a aplicação do *Lean* na indústria 4.0 é de extrema importância para a eficácia e eficiência nos processos de produção, localizando as restrições de capacidade e principalmente atuando de forma a evitar desperdícios como alto tempo de *setup*, defeitos e retrabalho, excesso de produção, processamento impróprio, movimentos e transportes desnecessários, estoque e espera.

Dessa forma é possível alcançar maiores índices de lucratividade, qualidade, prazos, desempenho e confiabilidade. Os princípios das operações enxutas são baseados na direção de eliminar todos os desperdícios, desenvolvendo uma maneira mais rápida e confiável de operação a fim de produzir determinados produtos e serviços com mais alta qualidade e menor custo (STURION *et al.*, 2020).

O objetivo deste estudo é realizar comparações de resultados obtidos na aplicabilidade de metodologias no *Lean Manufacturing* na redução de desperdícios e melhoria contínua dentro do novo conceito de indústria.

Esse artigo irá analisar a relação da filosofia *Lean Manufacturing* com a indústria 4.0, pois quando essa filosofia foi criada a indústria não possuía o nível de tecnologias atuais.

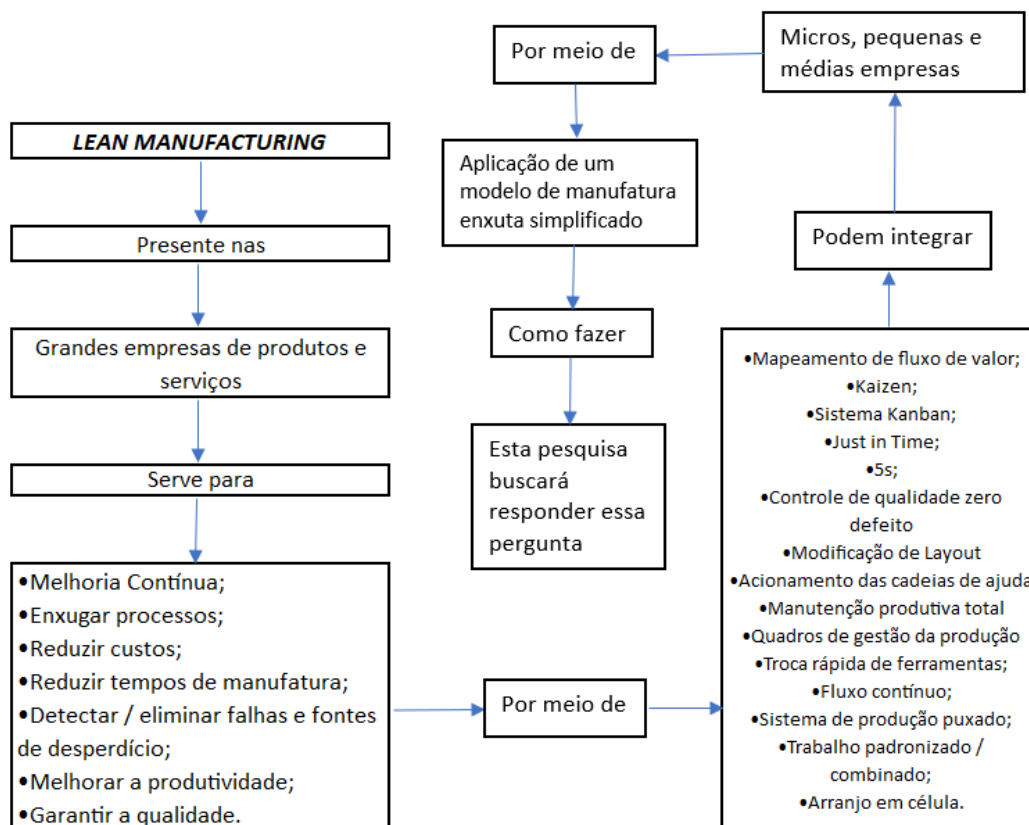
2. REFERENCIAL TEÓRICO

Considerando que este artigo é uma revisão da literatura, abordaremos nesta seção as principais ferramentas e filosofias do *Lean Manufacturing* e os pilares da indústria 4.0.

2.1 Lean Manufacturing

A filosofia *Lean Manufacturing* surgiu no Japão após a Segunda Guerra Mundial quando os fabricantes japoneses estavam atrás de soluções financeiras para produzir, mas não podiam arcar com os investimentos necessários para reconstruir instalações destruídas. A Toyota começou a produzir automóveis com menor custo, estoque, esforço humano, investimento e produtos. O *Lean Manufacturing* traz competitividade ao mercado reduzindo custos, melhorando produtividade e qualidade. Existem documentos onde os autores descrevem os benefícios da otimização enxuta, dentre eles: melhoria no *lead time* que implica na redução do tempo de processamento, tempo de ciclo, tempo de configuração, estoque, defeitos, e eficácia geral de equipamento. Além de todas as melhorias citadas houve uma melhora significativa no intelecto dos funcionários (BHAMU; SANGWAN, 2013). O modelo conceitual do surgimento das metodologias e ferramentas *Lean* segue conforme Figura 1:

Figura 1: Mapa conceitual do *Lean Manufacturing*



Fonte: Adaptado de Venanzi (2016)

A metodologia *Lean* está presente nas grandes empresas, seja de produtos ou serviços e serve para: melhoria contínua, enxugar processos, reduzir custos, reduzir tempo de manufatura,

detectar e eliminar falhas e fontes de desperdício, melhorar a produtividade e garantir a qualidade. Para chegar nesses resultados, é utilizado ferramentas e programas dentro da metodologia *Lean*, contudo, ainda são necessárias muitas pesquisas de como fazer ou como implantar essa metodologia dentro de uma organização.

2.1.1 Desperdícios

Conforme Rodrigues (2014), o principal foco da filosofia *Lean Manufacturing* é atuar na eliminação de desperdícios em diversos níveis de processos produtivos, otimizando processos ou eliminando as ações que os geram.

Nos sistemas Toyota de produção, o consultor Shigeo Shingo, foi quem auxiliou e ampliou todas as formas de entendimento sobre desperdício, além da mão de obra, Shigeo Shingo passou a considerar todas as atividades organizacionais. (RODRIGUES, 2014). Conforme Figura 2 foram elencados os sete desperdícios de Ohno e Shingo:

Figura 2: Os sete desperdícios de Ohno e Shingo



Fonte: Rodrigues (2014).

Também passou a ser considerado como oitavo desperdício o intelectual de pessoas, onde ocorre a subutilização de colaboradores, deixando de utilizar sua total capacidade.

Será exemplificado no Quadro 1 as principais ferramentas e metodologias do LM aplicadas nos processos de produção seguem:

Quadro 1: Programas e ferramentas *Lean*

Programas e Ferramentas	SIGNIFICADO	DEFINIÇÃO
VSM	<i>Value Stream Mapping</i> (Mapeamento do fluxo de valor).	É um método sistemático de identificação de todas as atividades necessárias para produzir um produto ou serviço. (VENANZI; SILVA, 2016)
HEIJUNKA	Nivelamento da produção	É um método que visa a redução da desigualdade (WERKEMA, 2012)
PROGRAMA 5S	<i>Seiri</i> (Classificar): Separar o necessário descartando o desnecessário.	É um método que tem como objetivo promover e manter a limpeza e organização dos postos de trabalho sejam eles administrativos ou de manufatura. (VENANZI; SILVA, 2016)
	<i>Seiton</i> (Ordenar): Arrumar e adequar o que é necessário ao acesso de todos.	
	<i>Seiso</i> (Limpar): Limpar e identificar cada item.	
	<i>Seiketsu</i> (Padronizar): Manter a classificação, ordenação e limpeza.	
	<i>Shitsuke</i> (Manter): Disciplinar e habituar a obedecer o que foi determinado.	
SMED	<i>Single Minute Exchange Of Die</i> .	A troca rápida de ferramentas (TRF ou SMED) é uma ferramenta que tem por objetivo reduzir o tempo de preparação ou setup de equipamentos. (RODRIGUES, 2014)
KANBAN	Palavra de origem Japonesa que significa "cartão".	É um sistema que tem a função de coordenar o fluxo de matérias e de informação durante todo o processo de fabricação de acordo com o sistema puxão. (VENANZI; SILVA, 2016)
GESTÃO VISUAL	Fácil visualização de todas as ferramentas, atividades e indicadores de desempenho do sistema de produção.	É um método que visa dar um rápido entendimento a todos os envolvidos. (WERKEMA, 2012)

TPM	Total Productive Maintenance (manutenção produtiva total).	É o conjunto de procedimentos que têm como objetivo garantir que os equipamentos de um processo produtivo sejam sempre capazes de executar as tarefas necessárias, de modo a não interromper a produção (WERKEMA, 2012)
KAIZEN	Melhoramento contínuo.	É uma metodologia para o alcance de melhorias rápidas, que consiste no emprego organizado do senso comum e da criatividade para aprimorar um processo individual ou um fluxo de valor completo. (WERKEMA, 2012)
POKA-YOKE	A prova de erros.	É o conjunto de procedimentos e/ ou dispositivos cujo objetivo é detectar e corrigir erros em um processo antes que se transformem em defeitos percebidos pelos clientes. (WERKEMA, 2012)
PDCA	<i>Plan, Do, Check e Action.</i>	É um método que tem como objetivo controlar e indicar oportunidades de melhorias em um processo. (RODRIGUES, 2014)

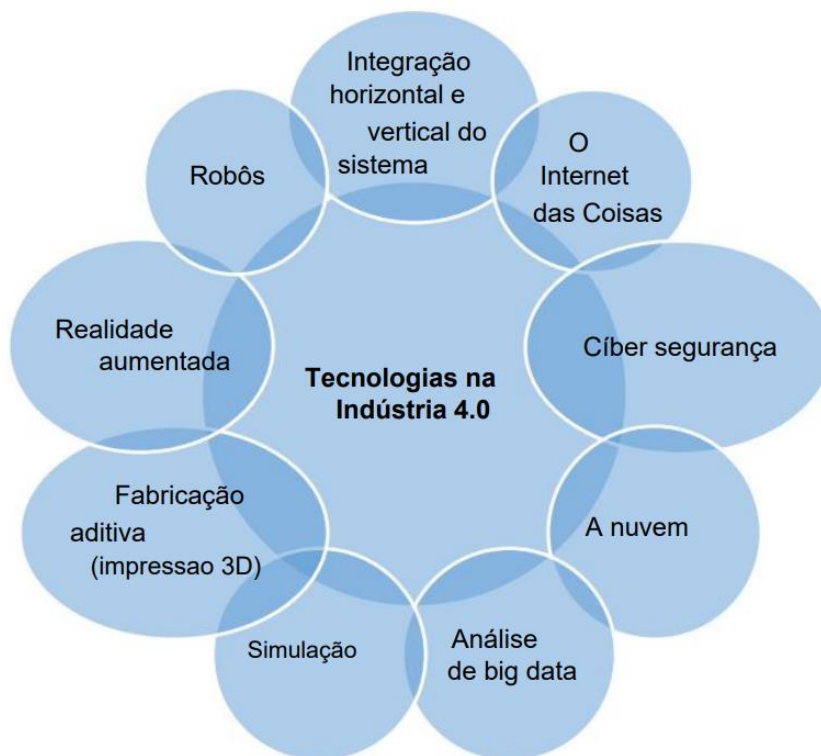
Fonte: Rodrigues (2014); Werkema (2012); Venanzi; Silva (2016).

Cada programa e ferramenta foi criado para a resolução de problemas encontrados em diferentes áreas ou setores dentro da indústria, onde o principal objetivo é além de detectar as fontes geradoras dos problemas, também criar formas de resolução não temporária, mas garantir que o problema não retorne e assim garantir qualidade no processo.

2.2 Indústria 4.0

A nova revolução industrial chamada indústria 4.0 tornou-se conhecida publicamente em 2011 na Alemanha com a estratégia de implementação de novas tecnologias dentro da indústria, dentre elas: internet das coisas, *big data*, realidade aumentada, automatização e integração de processos (BARHIN *et al.*, 2016). Conforme Figura 3:

Figura 03: Tecnologias Relacionadas à Indústria 4.0



Fonte: Bahrin (2016).

É possível observar na Figura 3 que as tecnologias envolvidas na indústria 4.0 são muito importantes para o funcionamento do sistema como um todo.

2.2.1 Internet das coisas (IoT)

De acordo com Ruessmann *et al.* (2015), atualmente, apenas alguns fabricantes têm sensores e máquinas que estão em rede e usam computação embarcada. Eles geralmente são organizados em uma pirâmide de automação vertical, onde sensores e dispositivos de campo com inteligência limitada e controladores de automação alimentam um sistema integrado de controle de processo de fabricação. Mas com o advento da Internet das Coisas Industrial, mais dispositivos (às vezes até produtos inacabados) serão enriquecidos com computação incorporada e conectados usando tecnologias padrão. Isso permite que os dispositivos de campo se comuniquem e interajam entre si e com um controlador mais centralizado, conforme necessário. Também descentraliza a análise e a tomada de decisões, permitindo respostas em tempo real.

2.2.2 Automação (Robotização)

Fabricantes de várias indústrias já utilizam robôs para realização de tarefas no lugar de mão de obra humana para ter maior aproveitamento e desempenho. Com o aumento de tecnologia, os robôs estão se tornando mais inteligentes, autônomos e flexíveis para realização de atividades de alta complexidade, até mesmo em casos onde é necessário tomada de decisão. (RUESSMANN *et al.*, 2015).

2.2.3 Cibersegurança

Grande parte das empresas ainda contam com sistemas de gestão e produção desconectados ou fechados. Com a chegada de novos sistemas de conectividade, é necessário o aumento de forma significativa da proteção dos dados e informações contra as ameaças cibernéticas, resultando em comunicações seguras e confiáveis, tal como aprimoramento no gerenciamento e no acesso de máquinas e usuários (RUESSMANN *et al.*, 2015).

2.2.4 Realidade aumentada

Segundo Ruessmann *et al.* (2015), Sistemas baseados em realidade aumentada oferecem suporte a vários tipos de serviços, como retirada de peças de um armazém e envio de instruções de reparo por meio de dispositivos móveis. Esses sistemas ainda estão em construção e fase de aprimoramento, mas no futuro as empresas usarão a realidade aumentada de forma mais ampla para fornecer aos funcionários informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões e os procedimentos de trabalho.

Um exemplo de aplicabilidade são que trabalhadores podem receber instruções de reparo sobre como substituir peças específicas enquanto visualizam o sistema real. Essas informações podem ser exibidas diretamente no campo de visão do trabalhador usando dispositivos como óculos de realidade aumentada (RUESSMANN *et al.*, 2015).

2.2.5 Nuvem

Segundo Ruessmann *et al.* (2015) existem empresas que já utilizam de *softwares* em nuvem para aplicativos empresariais e analíticos, até mesmo sistemas de monitoramento e controle estão sendo embasadas nela. Se tratando da nova revolução industrial os empreendimentos de produção exigirão maior nível de compartilhamento entre sites e limites da empresa, melhorando simultaneamente o desempenho tecnológico com interação de apenas milissegundos. Com o passar do tempo a nuvem cada vez mais receberá dados e terá a

funcionalidade das máquinas ainda mais ligadas a ela, permitindo orientações para sistemas de produção.

2.2.6 Integração de sistemas

A integração de sistemas é uma tecnologia em ascensão na atualidade, mas de acordo com Ruessmann *et al.* (2015), ela ainda não faz parte dos sistemas de TI na grande maioria das empresas. Industrias, fornecedores e clientes dificilmente estão intimamente ligados. De forma geral a integração completa de sistemas é deficitária seja em níveis de chão de fábrica, até mesmo em departamentos de engenharia, produtos a plantas e automação.

Na indústria 4.0, todos os níveis de trabalho atuaram de forma coesa, com a evolução das redes de integração e dados universais entra as empresas, permitindo assim grupos de valor verdadeiramente automatizadas (RUESSMANN *et al.*, 2015).

2.2.7 Big data

É notório que nos dias de hoje a tecnologia avança de forma rápida e desenfreada, com isso a produção de dados também aumenta de forma significativa e das mais variadas formas, de acordo com Witkowski (2017) com o aumento rápido da tecnologia, a produção e coleta de dados produzidos diariamente é realizada em grande proporção, sua análise e processamento vai além das ferramentas já conhecidas no mercado. *Big data* é uma tecnologia avançada que facilita e permite realizar um gerenciamento rápido e eficiente dos bancos de dados que coletam as mais diversas informações de várias fontes diferentes, que cada vez mais crescem no cenário atual. Ela nos permite separar através de análises o que é relevante do irrelevante e auxiliando diretamente nas tomadas de decisões, apoiando efetivamente na transferência de conhecimento para definição dos objetivos de negócios.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente a primeira etapa foi a busca de artigos científicos nas maiores bases de dados científicos disponíveis em 2022, *SCOPUS*, *GOOGLE ACADEMICO* e *SCIENCE* cujo o objetivo foi obter um conhecimento amplo sobre ambos os tópicos. Os artigos referenciados foram pesquisados com as palavras chaves: *Lean Manufacturing*, indústria 4.0, *IOT*, *big data*, *Toyota*, indústria, *industry*.

A segunda etapa foi a consulta em livros referencias nas áreas de *Lean Manufacturing* e *Industria 4.0* reforçando bases de dados e metodologias utilizados em artigos científicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

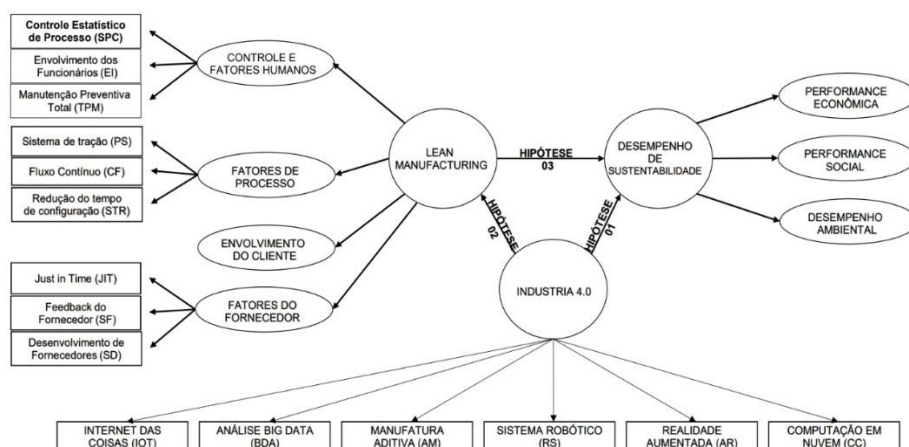
Diante do que foi apresentado, é muito discutido a utilização das ferramentas de manufatura enxuta na automatização de processos da indústria 4.0. De acordo com Stefani *et al.* (2021) ambos os temas se complementam e é necessário considerar as ferramentas de produção enxuta na implementação da indústria 4.0. Os princípios Lean trazem pensamentos críticos afim de evitar desperdícios e fazer a verificação do mapa de fluxo de valor dos processos industriais de acordo com as necessidades do mercado.

De acordo com Rüttimann e Stöckli (2016) a indústria 4.0 não tornará o *Lean Manufacturing* obsoleto, mas que ambos os sistemas de manufatura gerarão uma dependência mútua e terão seu domínio de aplicabilidade especificamente a variação do produto e volume da produção.

Conforme citado sobre a aplicação da Indústria 4.0 com a manufatura enxuta gera muitas análises e discussões sobre a sua aplicabilidade, desafios, resultados e sobre sustentabilidade em geral. Assim como o estudo realizado por Ghaithan *et al.* (2021) sobre o impacto da indústria 4.0 e *Lean Manufacturing* no desempenho da sustentabilidade de organizações plásticas e petroquímicas na Arábia Saudita, que embora as indústrias plásticas e petroquímicas na atualidade vem aperfeiçoando tecnologias de manufatura enxuta e/ ou tecnológicas (Indústria 4.0), há a necessidade de aprimoramento das mesmas em prol do desenvolvimento sustentável.

Após análises e discussões sobre o impacto da Indústria 4.0 e *Lean Manufacturing*, foi desenvolvido uma estrutura para avaliação do desempenho e influencia indireta da tecnologia 4.0 por meio do LM em relação a sustentabilidade, conforme Figura 4:

Figura 04: Estrutura de pesquisa



Fonte: Adaptado de Ghaithan (2021)

De acordo com Ghaithan *et al.* (2021) a avaliação dos resultados pode ser realizada estabelecendo as três hipóteses a seguir:

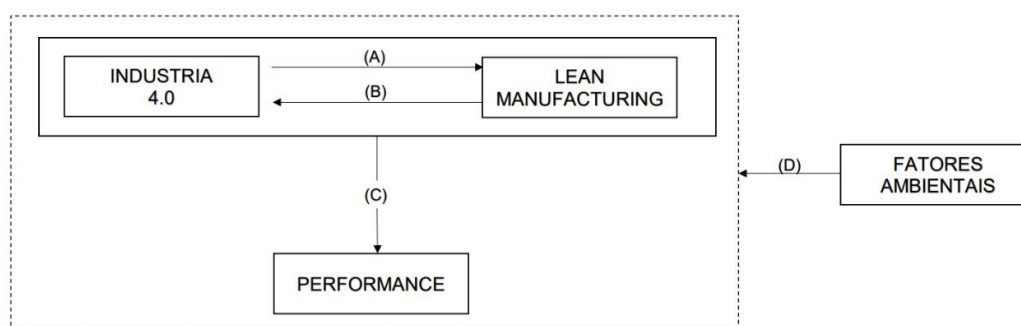
- Hipótese 1. As tecnologias da Indústria 4.0 influenciam direta e positivamente o desempenho de sustentabilidade das indústrias plásticas e petroquímicas na Arábia Saudita;
- Hipótese 2. As tecnologias da Indústria 4.0 influenciam direta e positivamente a manufatura;
- Hipótese 3. A relação indireta entre as tecnologias da Indústria 4.0 e o desempenho de sustentabilidade é significativamente mediada pela manufatura enxuta.

Conforme Ghaithan *et al.* (2021) as três hipóteses foram exploradas e avaliadas por meio de um questionário distribuído a organizações petroquímicas e plásticas direcionadas na Arábia Saudita.

O estudo valoriza o papel das tecnologias da Indústria 4.0 e da manufatura enxuta como ferramentas poderosas para o avanço da sustentabilidade nos setores plástico e petroquímico (GHAITHAN *et al.*, 2021).

Buer *et al.* (2018) nos exemplifica também outro paralelo entre as tecnologias apresentadas e fatores ambientais, na imagem adaptada abaixo podemos visualizar relações entre a indústria 4.0, *Lean Manufacturing*, desempenho e fatores ambientais.

Figura 5: Análise de fator de sucesso



Fonte: Adaptado de Buer (2018).

O fator de sucesso é encontrar alta performance dentro do processo de produção. Na indústria 4.0 temos tecnologias prontas para serem ensinadas a como buscarem resultados desejados, já no *Lean Manufacturing* temos a bases para trabalhar redução de desperdícios, melhoria contínua seja por fatores internos ou externos.

Outros pontos de análises foram pontos-chaves de ferramentas utilizadas no *Lean Manufacturing* x Indústria 4.0 trazendo-se exemplos de aplicabilidade do conceito de manufatura enxuta dentro de sistemas ciber-físicos, onde um grupo de 12 pesquisadores Lean Manufacturing foi convidado a participar de um *workshop* em novembro de 2017 para realizar a atividade de avaliação. Cada um deles foi breve sobre o exercício e apresentado com os detalhes resumidos dos documentos identificados acima e os detalhes adicionais dos exemplos ou casos da Indústria 4.0. Houve também uma rodada de discussão sobre a definição dos sete tipos de resíduos.

O método de avaliação utilizado por Wagner et al (2017) seguiu os seguintes critérios. O código “+” significa que há um baixo impacto positivo desta tecnologia da Indústria 4.0 na redução de resíduos específica. “++” significa que há um alto impacto positivo desta tecnologia da Indústria 4.0 na redução de resíduos específica. “+++” representa o maior impacto possível desta tecnologia da Indústria 4.0 na redução de resíduos específica. Foi adotada uma abordagem de consenso de grupo para finalizar cada uma das classificações dadas e o resumo dos resultados gerais do exercício de avaliação é apresentado no Quadro 2:

Quadro 2: Estudo de aplicabilidade *Lean* na indústria 4.0

	Aquisição de dados e processamento de dados				Comunicação máquina-máquina (M2M)		Interação Humano-Máquina (HMI)	
	Sensores e Atuadores	Computação em Nuvem	Big Data	Análise	Integração Vertical	Integração Horizontal	Realidade Virtual	Realidade Aumentada
5S	+	+	+	+	+	+	++	+++
KAIZEN	+	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Just in Time	++	++	+++	+++	+++	++	+	++
Jidoka	+	+++	+++	+++	++	++	+	+
Heijunka	++	++	+++	+++	+++	++	++	+
Estandartização	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++
Tack-Time	+	+	+++	+++	+++	+++	+	+
Puxar o fluxo	++	+	+	+	+++	+++	+	+
Separação Homen-Máquina	+	+	+	+	+	+	+++	+++
Pessoas e trabalho em equipe	+	+	+	+	+	+	+++	+++
Redução de resíduos	+	+	++	+++	+++	+++	+	+

Fonte: Adaptado de Wagner (2017)

Conclui-se que, a indústria 4.0 se propõe a elevar as capacidades de fabricação para um próximo nível através das suas tecnologias habilitadores e sistemas inteligentes sem o uso de mão de obra humana. Contudo ainda persiste o pensamento de que tudo pode e deve ser melhorado, e esse pensamento vem através da melhoria contínua trazidas através das filosofias

Lean com seus embargos de ferramentas e métodos criados para aumentar a eficiência dentro do processo produtivo.

Entretanto, infelizmente ainda não se tem dados de desempenhos trazidos na junção desses elementos devido a indústria 4.0 ainda estar caminhando dentro das organizações na atualidade.

5. CONCLUSÕES

Através dos estudos apresentados de revisão do impacto das tecnologias da Indústria 4.0 com *Lean Manufacturing*, em particular, na eliminação de diferentes desperdícios, fica claramente estabelecido a partir deste exercício de revisão e avaliação que há muito potencial para o ambiente da Indústria 4.0 melhorar ainda mais a produtividade em grandes volumes com qualidade e flexibilidade.

A tecnologia possibilitou elevar a produção para outros níveis, contudo mesmo com todo seu potencial de algoritmos de inteligência artificial, linguagens de programação orientados à objetivos e realidade aumentada ainda é necessário métodos de base para tomada de decisões, e a metodologia *Lean* já possui metodologias e ferramentas altamente capazes para resolução de problemas, melhoria contínua, nivelamento da produção e eliminação de desperdícios.

Este artigo buscou por meio de pesquisas bibliográficas verificar a utilização de métodos de manufatura enxuta dentro do novo conceito de indústria e é limitado devido ainda não se ter dados quantitativos para apresentação de resultados e melhorias de aplicação em um ambiente de produção. Portanto novas pesquisas poderão correlacionar com base em dados se as novas tecnologias habilitadoras obtiveram um maior nível de sucesso dentro dos processos industriais utilizando bases da metodologia *Lean*.

REFERÊNCIAS

BAHRIN, M. A. K. *et al.* Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-13, p. 137–143, mar. 2016. DOI: 10.11113/jt.v78.9285. Disponível em: <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/9285/5537>. Acesso em: 25 maio 2022.

BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. **Lean manufacturing: literature review and research issues**. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 7, p. 876-940, jul. 2014. DOI: 10.1108/IJOPM-08-2012-0315. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOPM-08-2012-0315/full/html>.

BUER, S. *et al.* The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924- 2940, fev. 2018.

GHAITAN, A. *et al.* Impact of Industry 4.0 and Lean Manufacturing on the Sustainability Performance of Plastic and Petrochemical Organizations in Saudi Arabia. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11252, out. 2021. Acesso em: 25 abr. 2022.

RODRIGUES, V. M. **Sistema de produção Lean Manufacturing**. n.1. Petrópolis: Elsevier, 2014. 148.

RUESSMANN, M. *et al.* Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston consulting group**, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

RÜTTIMANN, B. G.; STÖCKLI, M. T. Lean and Industry 4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. **Journal of Service Science and Management**, v. 9, n. 6, p. 485-500, dez. 2016.

STEFANI, E. *et al.* Aplicabilidade da Filosofia Lean na Indústria 4.0. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.7, n.3, p. 21335-21348, mar. 2021.

STURION, L. *et al.* Uma aplicação da ferramenta pdca para redução no custo de produção e desperdícios no setor de moagem e misturas de uma indústria de transformação plástica. **Brazilian Journals of Business**. Curitiba, v. 2, n. 2, p.1078-1089, jun. 2020. DOI: 10.34140/bjbv2n2-018. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BJB/article/view/10351/8663>. Acesso em: 30 mar. 2022.

VENANZI; SILVA. **Introdução à engenharia de produção**: Conceitos e casos práticos. n.1. Rio de Janeiro: GEN, 2016. 469.

WAGNER, T. *et al.* Industry 4.0 impacts on lean production systems. **Elsevier**, v. 63, p. 125-131, 2017. DOI: 10.1016/j.procir.2017.02.041. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117301385>. Acesso em: 10 jun. 2022.

WERKEMA, C. **Lean seis Sigma**: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. n.2. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 115.

WITKOWSKI, K. Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 763-769, 2017. DOI:

10.1016/j.proeng.2017.03.197.

Disponível

em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817313346>. Acesso em: 04 jun. 2022.