



Melhoria de Processos em uma Linha de Montagem: o uso do VSM como Introdução à Indústria 4.0

Samuel Ramirez Hohl Abrahão (UNB)
samuelhohl8@gmail.com

Flávia Motta Corvello (UNB)
flaviamcorvello@gmail.com

Sanderson César Macêdo Barbalho (UNB)
sandersoncesar@unb.br

José Luís Garcia Hermosilla (Uniara)
jlghermosilla@hotmail.com

A Indústria 4.0 garante maior eficiência da cadeia de valor por meio de inovações mais rápidas e inteligentes nos processos produtivos, aumentando assim a lucratividade das empresas. Contudo, a instalação das tecnologias necessárias para implementar um modelo de indústria 4.0 representa um alto custo para as organizações, custos estes que podem ser compensados e minimizados pela adequada adoção do Lean Manufacturing, transformando tal organização em uma indústria enxuta e inteligente. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso em uma indústria de implementos agrícolas localizada no interior do Estado de São Paulo a fim de comprovar tal economicidade de custos que pode ser obtida, principalmente, por meio da ferramenta de VSM - Value Stream Mapping. No estudo realizado, o VSM mostrou-se eficaz para auxiliar na visualização de falhas no processo e propostas de melhorias que impactam na redução de desperdícios.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Lean Manufacturing, VSM, Sustentabilidade.

1. Introdução

A quarta revolução industrial visa alcançar uma inovação mais rápida nos processos de manufatura com maior eficiência da cadeia de valor (BEN-DAYA et al., 2019). Com foco na automação do fluxo de processos, a Indústria 4.0 permite flexibilidade e personalização de produtos e serviços e, conseqüentemente, aumenta a maximização da lucratividade (SCHMIDT et al., 2015).

Entretanto, a implantação das tecnologias necessárias para o alcance da Indústria 4.0 (I4.0) gera um alto custo para a indústria, custos estes que podem ser compensados e minimizados pela adequada adoção do *Lean Manufacturing*, transformando tal organização em uma indústria enxuta e inteligente (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018). Assim, a revolução digital impacta de forma complexa nos sistemas de produção, provendo soluções por meio das combinações de tecnologias da Indústria 4.0. Essas combinações levam as organizações a repensarem a cadeia de valor de seus novos produtos e como desenvolvê-los para inserção no mercado (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; MAYR et al., 2018; PEREIRA et al., 2019; SANDERS et al., 2016). Essas novas tecnologias não devem substituir as técnicas utilizadas na produção enxuta: ambas devem ser integradas, de forma que o *Lean* possa complementar as tecnologias da Indústria 4.0 (NUNES; PEREIRA; ALVES, 2017).

Sob outra perspectiva, devido ao surgimento de concorrentes disputando seu espaço no mercado, empresas e indústrias tendem a apresentar um ambiente competitivo e desafiador, recorrendo às técnicas de gestão e otimização de processos para alcançar um diferencial. Tais técnicas, como *Value Stream Mapping* (VSM), 5S e *Just-In-Time* (JIT), oferecem novos métodos para visualizar e analisar os processos produtivos do cliente e eliminar atividades sem valor agregado das linhas de produção, auxiliando a implantação da filosofia *Lean* na empresa e permitindo que esta alcance ambientes mais eficientes e com taxas minimizadas de desperdícios (ZHANG et al., 2016; TAPPING; SHUKER, 2010).

Com o uso de sistemas integrados de informação e comunicação, as deficiências das práticas convencionais podem ser superadas para melhorar a produtividade e eliminar desperdícios (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018). Isso implica que as indústrias têm os benefícios combinados da integração em tempo real de toda a fábrica, juntamente com a garantia de geração mínima de desperdícios, princípio da produção enxuta (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016). Assim, é possível unir os sistemas inteligentes e tecnologias desenvolvidas na quarta revolução industrial com ferramentas da produção enxuta,

como o VSM, a fim de otimizar o processo de produção de indústrias com linha de montagem manual.

Considerando que este trabalho faz parte de um projeto que visa a aplicação da automação de um posto de trabalho utilizando Realidade Aumentada e Inteligência Artificial, fez-se necessário o mapeamento e identificação de todas as etapas de montagem do posto observado. Por outro lado, do ponto de vista científico, não foram identificados trabalhos que apresentem a aplicação das técnicas do *Lean*, especificamente do VSM, como requisito para a automação industrial, assim como o detalhamento das etapas de um único posto de trabalho, como fonte de visualização para automatizar um determinado processo em ambiente de I4.0.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho é aplicar as ferramentas da produção enxuta em uma empresa de implementos agrícolas, para otimização do fluxo e adequação à Indústria 4.0. A fim de propor à empresa um processo otimizado e enxuto, foram desenvolvidos os VSMs atual e futuro do processo observado com as devidas adequações necessárias para viabilizar a automação do processo.

Foi realizado um estudo de caso, com métodos de investigação qualitativa, buscando uma compreensão do processo do posto de trabalho da empresa observada no estudo. Com base nos fatores observados, foi realizada uma coleta e análise de dados a fim de propor um modelo de melhoria por meio da produção enxuta. Além dessa seção introdutória, o artigo apresenta a seguir o referencial teórico trabalhado, e na sequência a metodologia, estudo da empresa, os resultados e discussões e as considerações finais do trabalho. Além dessa seção introdutória, o artigo apresenta a seguir o referencial teórico trabalhado, e na sequência a metodologia, estudo da empresa, os resultados e discussões e as considerações finais do trabalho.

2. Revisão Bibliográfica

As revoluções industriais estão historicamente associadas a rupturas nos modelos de produção. O processo disruptivo começou com o surgimento das máquinas a vapor, avançando para o uso da eletricidade e culminando na Revolução Digital, que introduziu a aplicação de inovações computacionais no contexto da manufatura. O rápido ritmo de desenvolvimento tecnológico está mudando a forma como a sociedade trabalha e se relaciona com o meio ambiente (ELIASSEN et al., 2018).

A Indústria 4.0 começou a avançar em produção com sistemas autônomos e flexíveis, revolucionando assim os processos produtivos. Sabe-se que a integração holística de ferramentas do *Lean Manufacturing* (LM), como o *Just in Time* (JIT), *Kanban*, *Poka-Yoke*,

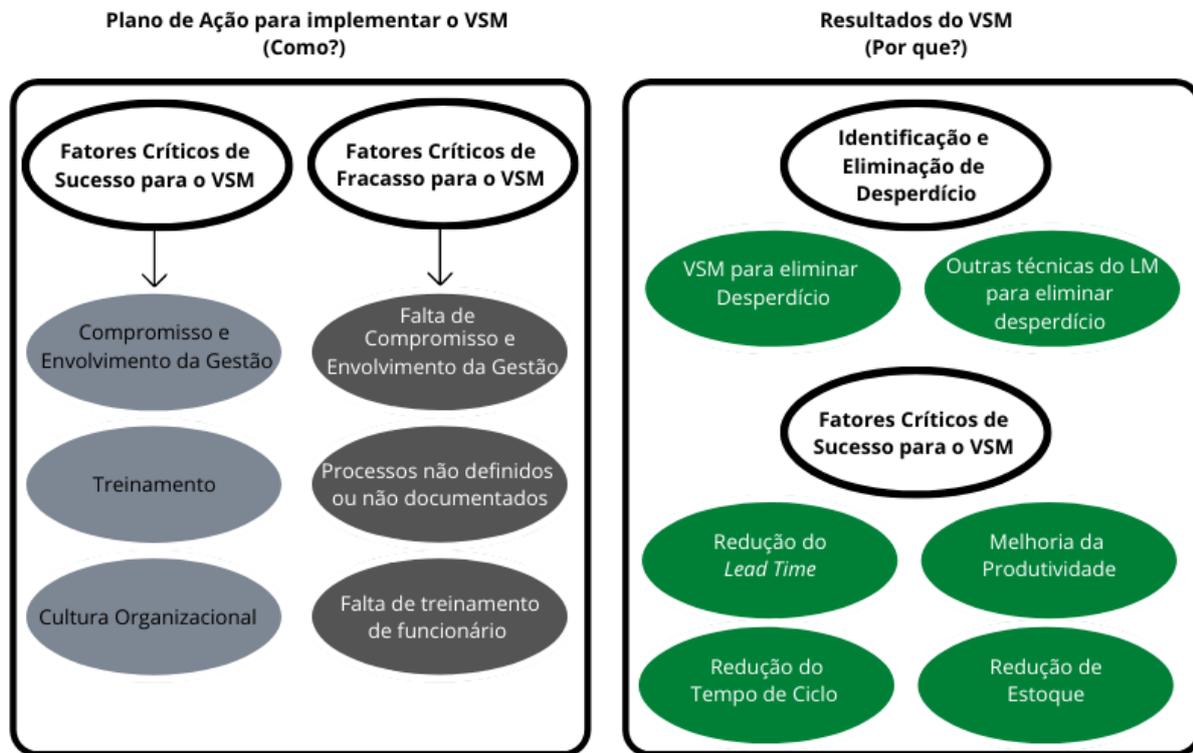
Value Stream Mapping (VSM), *Kaizen* e *Toyota Productive Maintenance* (TPM), com as tecnologias digitais, tais como, *Big Data*, Computação na Nuvem, Realidade Aumentada (AR), Realidade Virtual (VR), *Virtual Simulation* (VS) Inteligência Artificial (IA) e *Internet of Things* (IOT), desenvolvidas pela indústria 4.0 oferece para as empresas uma série de ganhos organizacionais, como agilidade no processo produtivo e garantia da qualidade do produto ao longo de suas etapas de fabricação (VALAMEDE; AKKARI, 2020). Além disso, sabe-se que a contribuição da Indústria 4.0 para a criação de valor industrial mais sustentável será notável no futuro.

Na literatura, essa contribuição é atribuída às dimensões econômicas, ambientais e sociais da sustentabilidade, já que a implementação da manufatura enxuta em ambientes de manufatura inteligentes é vantajosa para reduzir custos. Logo, a implantação da Indústria 4.0 é identificada como uma operação de redução de custo intensiva, considerando o investimento necessário e os benefícios percebidos (SACHIN et.al., 2018).

Dentre as ferramentas para visualização do processo e implementação do *Lean* na indústria, pode-se destacar o VSM. O VSM é uma técnica da produção enxuta que descreve e investiga o ciclo produtivo auxiliando na identificação de eventuais desperdícios que devem ser removidos do processo (ROTHER; SHOOK, 2003). A aplicação do VSM, dentre as outras técnicas de *Lean Production*, é capaz de produzir resultados consistentes em vários setores (TYAGI; VADREVU, 2015). A ferramenta em questão, que também pode ser chamada de mapa fluxograma ou mapeamento de fluxo de valor, fornece uma plataforma visual, não apenas para capturar o fluxo de informação/material, como entrada/saída de etapas, mas também matrizes pertinentes, como recurso invertido, nível de estoque, tempo de ciclo, tempo utilizado etc. (WOMACK; JONES, 2003).

Conforme explicado no estudo de Andreadis, Garza-Reyes e Kumar (2017), a fim de implementar o VSM com sucesso, é necessário que as organizações se esforcem para desenvolver os compromisso e envolvimento da gestão, treinamento e cultura organizacional que determinam o sucesso da implementação do VSM. Da mesma forma, os autores defendem a redução da falta de comprometimento e envolvimento da gestão, processos não documentados ou não devidamente definidos e falta de treinamento de funcionários, que dificultam a implantação do VSM.

Figura 1 – Estrutura conceitual para auxiliar na implementação e gestão do VSM.



Fonte: Adaptado de Andreadis, Garza-Reyes e Kumar (2017).

Conforme ilustrado na figura 8, quando aplicado com sucesso o VSM fornece os resultados de melhoria na produtividade e redução do *Lead Time*, tempo de ciclo e do estoque. Ademais, a consciência dos fatores críticos auxilia as organizações a compreender o que deve ser cumprido para implementar com sucesso o VSM e atingir a produção enxuta (ANDREADIS, GARZA-REYES E KUMAR, 2017).

Segundo Andreadis, Garza-reyes e Kumar (2017), os resultados evidenciados na figura 8 somente poderiam ser atingidos por meio da implementação do VSM. No entanto, para obter esses resultados também é sugerido que outras técnicas do LM sejam implementadas, a fim de tornar a eliminação de desperdícios mais efetiva. Logo, o uso do VSM não é aconselhado apenas para melhorar alguns aspectos operacionais do processo produtivo de uma empresa, mas também para implementar o *Lean Manufacturing*.

Conforme discutido em Silva et al. (2019), a metodologia mais encontrada na literatura descrevendo como aplicar a indústria 4.0 de maneira efetiva nas empresas tem sido os modelos de maturidade em I4.0. O trabalho de Dantas e Barbalho (2021) apresenta um exemplo de como esse tipo de metodologia tem sido utilizado em casos brasileiros. Apesar disso, em aplicações mais pontuais, processos bem definidos e com escopo bem delimitado, aplicar modelos de

maturidade não parece ser custo-efetivo. Assim, propõe-se nesse trabalho uma implantação baseada na racionalização do processo por meio de VSM, sendo esta uma primeira aplicação visando estudar a viabilidade de tal aplicação.

3. Metodologia e Procedimentos Operacionais

O estudo de caso foi desenvolvido em uma indústria de implementos agrícolas localizada no interior do estado de São Paulo. Visando descrever de modo detalhado uma solução aplicada no contexto da organização estudada, foi desenvolvido, neste trabalho, um estudo de caso de natureza aplicada, com objetivo descritivo e abordagem qualitativa.

Cabe destacar que, durante a aplicação do estudo de caso, foram desenvolvidos dois VSMs: um para representar o estado atual da empresa estudada, e o outro, para demonstrar as sugestões de melhoria dos procedimentos operacionais para a organização no futuro.

Para desenvolver uma pesquisa utilizando o método do estudo de caso é preciso cumprir seis etapas: definição teórica, planejamento do caso e condução do teste piloto, coleta e análise de dados e geração de relatórios (CAUCHICK-MIGUEL, 2010).

A definição teórica e conceitual foi apresentada na seção anterior. A pesquisa foi desenhada e projetada de acordo com a disponibilidade da indústria para acompanhar o estudo e coleta de dados: inicialmente foi feita uma visita para conhecimento e identificação do processo de produção global da indústria, e então identificado um posto de trabalho a ser estudado. A coleta de dados ocorreu por meio de observação direta e entrevista estruturada, de forma a obter todas as informações necessárias para o mapeamento do setor. As informações obtidas foram analisadas a partir da construção do VSM atual e propostas para melhorias de processo através do VSM futuro, e então gerados relatórios de análise. Os procedimentos e seus resultados serão especificados na seção a seguir.

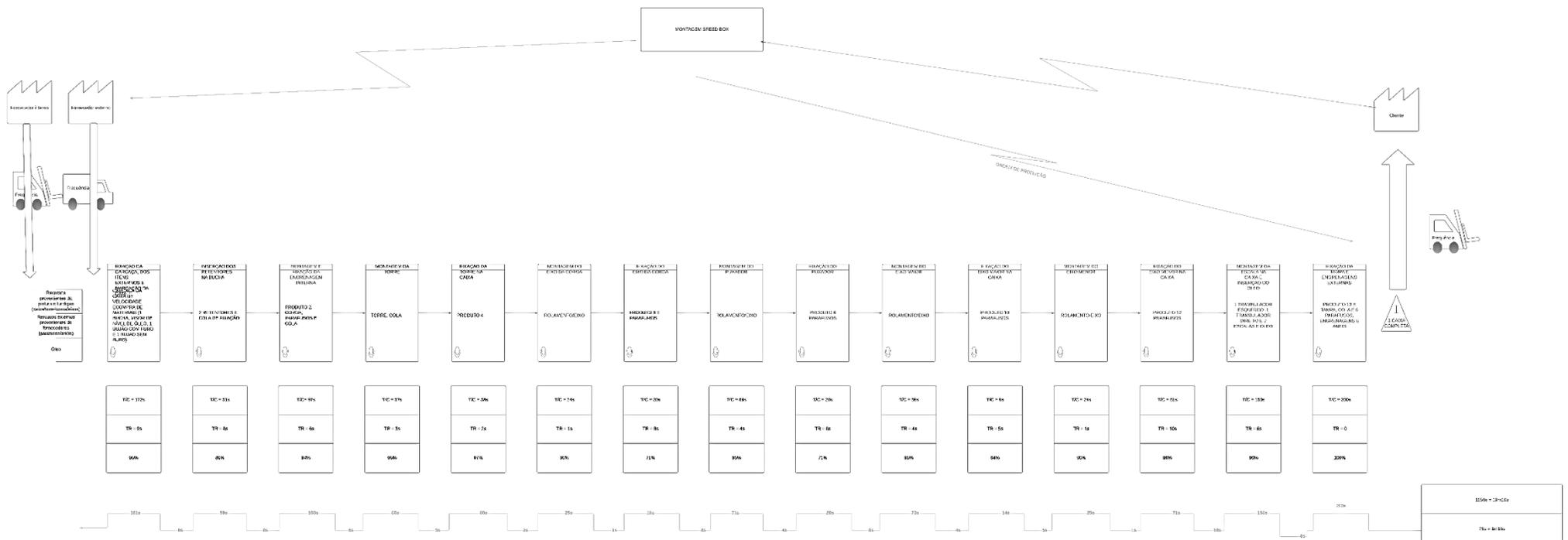
4. Resultados e Discussões

O contexto deste trabalho é de um projeto internacional em que estão sendo desenvolvidas tecnologias de realidade aumentada e inteligência artificial para automatizar linhas de montagem manual complexas. Uma das empresas parceiras no Brasil é uma grande fabricante de máquinas e implementos agrícolas. A primeira visita à empresa, enquanto era apresentado todo o processo produtivo, foi apontado como crítico o setor responsável pela montagem da caixa de velocidades utilizada nas plantadeiras. Considerado um posto de montagem de alta complexidade, com muitas etapas e detalhes, a automação e utilização de uma tecnologia

inteligente seria uma alternativa para a garantia de qualidade do processo, para isso seria necessário o conhecimento do processo de montagem.

Uma segunda visita foi realizada para o levantamento de dados e coleta de informações por meio de uma entrevista feita com o gestor e com o operador responsáveis pelo posto de trabalho, além da identificação de todas as etapas do processo. O VSM foi adaptado à linha de montagem de forma a melhorar a visualização do processo produtivo estudado. Através da observação e do estudo de tempos do processo, pôde-se obter o mapeamento apresentado na Figura 2.

Figura 2 - VSM atual do posto estudado



Fonte: Os próprios autores.

Analisados e sistematizados todos os processos da linha de montagem estudada, foi desenvolvido o VSM de estado atual com auxílio de um SIPOC (Supplier, Input, Process, Output and Customer), o qual foi usado como base para concepção do VSM de estado atual, já que ambos possuem as informações similares quanto à divisão de etapas do processo. Entretanto, o SIPOC é uma ferramenta pouco visual e por isso não será apresentado neste trabalho.

O VSM atual contém informações como tempo de montagem, tempo de troca e lead time, porém, o local de montagem dentro da célula de trabalho foi o fator mais relevante para análise do estado atual (AS IS), já que no deslocamento entre os processos foram identificados os maiores desperdícios de tempo e problemas ergonômicos para o trabalhador, como será explicitado posteriormente.

Por meio da elaboração do VSM atual foi possível agrupar as etapas de acordo com o local de montagem para que ocorra uma redução da movimentação do operador e consequente diminuição do tempo de troca.

A análise do processo e das entrevistas permitiu levantar alguns pontos de melhoria: o posto de trabalho fora estruturado para um operador canhoto, e o operador atual é destro. Este fato faz com que a ergonomia do posto se torne inapropriada ao trabalhador, o que resulta em movimentos extras e consequente aumento de tempo para a montagem; as peças utilizadas na montagem vindas de fornecedores (internos e externos) apresentam muitos defeitos e não-conformidades, gerando um desperdício, retrabalho e tempo parado (fato recorrente em todas as análises), isso quando os defeitos são identificados no posto, pois se a identificação for tardia, ou seja, na inspeção da qualidade, todos os itens da peça são perdidos, além do tempo utilizado para a montagem. O processo de montagem foi dividido em treze grandes etapas, sendo que quatro destas etapas são submontagens de peças que se acoplam à caixa de montagem principal, são nestas quatro etapas que ocorre o maior índice de identificação de peças com não conformidades e são, também, nestas quatro etapas que o operador mais se locomove para se distanciar da peça principal e executar a montagem destas peças com o auxílio de outros equipamentos, tempo gasto identificado no VSM.

Além destes defeitos, a falta de padronização e perfeita execução do processo dificulta a automatização do posto de trabalho, assim como a utilização de tecnologias inteligentes que possam colaborar para a melhoria da montagem, já que a identificação de processos não padronizados se torna inviável pela inteligência artificial, a qual não tem um parâmetro de comparação para validação da montagem, influenciando diretamente na qualidade do produto.

O VSM futuro aponta as melhorias sugeridas no processo de montagem para que os desperdícios identificados sejam reduzidos e que a tecnologia possa ser implantada (figura 3).

As sugestões de melhorias apontadas no VSM futuro (figura 2), apoiam-se na alteração das submontagens das peças para que sejam as primeiras etapas do processo de montagem. Estas alterações garantem menor movimentação do trabalhador, já que ele primeiro efetuará a submontagem das peças longe da peça principal (local onde ficam as máquinas utilizadas para estas montagens) e depois montará completamente a peça principal, sem interrupções e sem grandes deslocamentos. A montagem total, que começaria na quinta etapa do VSM, só teria seu início se nenhuma não conformidade fosse encontrada durante as etapas iniciais (submontagens), o que reduziria o tempo perdido e tempo parado durante a montagem.

Os ganhos previstos com as alterações propostas no VSM futuro priorizam a ergonomia do operador, reduzindo sua movimentação durante o processo de montagem; a detecção precoce de falhas das peças, já que as peças que possuem maior propensão a não-conformidade serão utilizadas nas primeiras etapas do processo, não interrompendo a montagem posteriormente; e consequente redução de tempos e de custos, os quais serão derivados da redução de movimentação sem valor agregado, e custos de desperdício de tempo e de peças perdidas pela detecção tardia de possíveis falhas.

A alteração desta sequência simula uma montagem similar à de uma árvore de produto, na qual o produto principal recebe as partes necessárias à montagem prontas para serem utilizadas. Este processo também garante uma maior padronização da sequência de etapas, o que não ocorre no VSM atual, como foi afirmado pelo operador durante a entrevista. Esta padronização e a redução de desperdício de tempo e mão-de-obra consumidas no processo atual contribuem para a melhor automação e utilização de tecnologias de RA e IA no processo de montagem, as quais passam a contar com um modelo ideal do processo para alimentar as tecnologias e servir como um comparativo para validação do processo.

5. Considerações Finais

A Indústria 4.0, caracterizada pela crescente automatização da indústria e utilização de tecnologias que buscam garantir um melhor rendimento do operador, ainda está em processo de desenvolvimento no mundo. Entretanto, o alto investimento necessário para que as empresas possam acompanhar a evolução da indústria é um grande desafio a ser enfrentado devido ao alto custo das novas tecnologias que traduzem a Indústria 4.0. Como forma de superar esta barreira, as empresas tendem a buscar um processo enxuto, para reduzir todos os custos e desperdícios, e transformar este retorno em investimento tecnológico, como é o caso da empresa

na qual foi realizado este estudo. Porém, embora busquem fazer parte desta nova era industrial, muitas empresas ainda sofrem com falhas em processos e desperdícios.

Este cenário de altos custos e altos desperdícios remetem às ferramentas do *Lean*, as quais auxiliam na redução de desperdícios e alcance de uma maior eficiência do processo. Neste estudo foi utilizado o VSM para identificação de perdas de tempo e de organização das operações do processo. No projeto considerado, outras ferramentas de LM como o setup rápido estão sendo previstas para serem utilizadas como forma de preparar o ambiente para a introdução das tecnologias de RA e IA previstas, o que será apresentado como trabalho futuro. À luz do exposto, pode-se definir como limitações do estudo o fato de que a sua aplicação ocorreu em apenas um caso, além disso o VSM de estado futuro não foi validado com a empresa por falta de tempo hábil para implantação. Diante desses fatores, recomenda-se que em um trabalho futuro seja validado o VSM, bem como desenvolvido um modelo de processo para utilização das tecnologias inteligentes.

REFERÊNCIAS

- BEN-DAYA, M.; HASSINI, E.; BAHROUN, Z. Internet of things and supply chain management: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 15-16, p. 4719-4742, 2019.
- BITTENCOURT, V. L.; ALVES, A. C.; LEÃO, C. P. Lean thinking contributions for Industry 4.0: a systematic literature review. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 13, p. 904-909, 2019.
- BUER, S.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. TS. 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, 2018.
- CAUCHICK-MIGUEL, P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. **Rio de Janeiro: Elsevier**, 2010.
- ELIASSEN, B. et al. Digital health revolution: person centric data management models and opportunities in the healthcare sector, the nordic way. 2018.
- KAGERMANN, H. et al. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group.** Forschungsunion, 2013.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.

MAYR, A. et al. Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. **Procedia Cirp**, v. 72, p. 622-628, 2018.

NUNES, M. L.; PEREIRA, A. C.; ALVES, A. C. Smart products development approaches for Industry 4.0. **Procedia manufacturing**, v. 13, p. 1215-1222, 2017.

PEREIRA, A. C. et al. How Industry 4.0 can enhance lean practices. **FME Transactions**, v. 47, n. 4, p. 810-822, 2019.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda**. Lean Enterprise Institute, 2003.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. P. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)**, v. 9, n. 3, p. 811-833, 2016.

SARTI, F.; HIRATUKA, C. Desenvolvimento industrial no Brasil: oportunidades e desafios futuros. **Campinas: IE. Unicamp**, 2011.

SCHMIDT, R. et al. Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. In: **International Conference on Business Information Systems**. Springer, Cham, 2015. p. 16-27.

TAPPING, D.; SHUKER, T. Lean Office: Gerenciamento do fluxo de valor para áreas administrativas-8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias Lean nas áreas administrativas. **São Paulo: Editora Leopardo**, 2010.

TYAGI, S.; VADREVU, S. Immersive virtual reality to vindicate the application of value stream mapping in an US-based SME. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, n. 5, p. 1259-1272, 2015.

VALAMEDE, L.; AKKARI, A. Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies. International. **Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences** Vol. 5, No. 5, 851-868, 2020.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. **Journal of the Operational Research Society**, v. 48, n. 11, p. 1148-1148, 1997.

ZHANG, L.; CHEN, X. Role of lean tools in supporting knowledge creation and performance in lean construction. **Procedia Engineering**, v. 145, p. 1267-1274, 2016.

DANTAS, R. F. ; BARBALHO, S. C. M. . The effect of islands of improvement on the maturity models for industry 4.0: the implementation of an inventory management system in a beverage factory. **Brazilian Journal Of Operations & Production Management**, v. 18, p. e20211119-17, 2020.

SILVA, I. A. ; BARBALHO, S. C. M. ; ADAM, T. ; HEINE, I. ; SCHMITT, R. . Industry 4.0 Maturity Models: A bibliometric study of scientific articles from 2001 to 2018. In: **26th EurOMA Conference Operations Adding Value to Society**, 2019, Helsinki. Operations Adding Value to Society. Helsinki: Aalto University, 2019. v. 1. p. 1829-1838.