

MANUFATURA ADITIVA, IOT E RFID NO CONTEXTO DE *LEAN MANUFACTURING*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

ABEL TITO BRAGA DE OLIVEIRA - abel.tito@hotmail.com
UNIVERSIDADE DE CAMPINAS - UNICAMP

JOSÉ HENRIQUE NAVAS - jhnavas@gmail.com
UNIVERSIDADE DE CAMPINAS - UNICAMP

LETÍCIA DE MATTEI GONÇALVES - leticiademattei@gmail.com
UNIVERSIDADE DE CAMPINAS - UNICAMP

IRIS BENTO DA SILVA - ibs@sc.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

Área: 1. ENGENHARIA DE OPERAÇÕES E PROCESSOS DA PRODUÇÃO

Sub-Área: 1.1 - Gestão de Sistemas de Produção e Operações

Resumo: EM UM CONTEXTO DE COMPETIÇÃO ACIRRADA POR MELHORIAS NA PRODUÇÃO, ASSOCIA-SE PRÁTICAS DE LEAN MANUFACTURING COM A MANUFATURA ADITIVA IOT E RFID, DENTRO DO ATUAL CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0. COM O OBJETIVO DE EXPLORAR AS RELAÇÕES QUE EXISTEM NESSAS CIRCUNSTÂNCIAS, FOI REALIZADA UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA, DE MANEIRA ESTRUTURADA E NORMATIZADA. NÃO FORAM ENCONTRADOS ESTUDOS SEMELHANTES. TAL PESQUISA TEVE OS OBJETIVOS DE ENCONTRAR ASSOCIAÇÕES ENTRE A MANUFATURA ADITIVA, RFID E IOT E AS PRÁTICAS DE LEAN MANUFACTURING. COMO FORMA DE ORGANIZAÇÃO DOS CONTEÚDOS ENCONTRADOS, FOI CRIADA UMA TABELA CONTENDO O TÍTULO, FOCO CENTRAL DE CADA ARTIGO E METODOLOGIA SEGUIDA PELO MESMO. FINALMENTE, FOI POSSÍVEL MAPEAR AS RELAÇÕES ENTRE TERMOS RELEVANTES DO CONTEÚDO QUE JÁ FOI PUBLICADO.

Palavras-chaves: SIMPEP; XXVII SIMPEP; LEAN MANUFACTURING; ADDITIVE MANUFACTURING; LITERATURE REVIEW; INDUSTRY 4.0; RECICLAGEM DE MATERIAL; MANUFATURA VERDE

ADDITIVE MANUFACTURING, IOT AND RFID IN THE CONTEXT OF LEAN MANUFACTURING: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Abstract: *IN A CONTEXT OF FIERCE COMPETITION FOR IMPROVEMENTS IN PRODUCTION, LEAN MANUFACTURING PRACTICES ARE ASSOCIATED WITH ADDITIVE MANUFACTURING, IOT AND RFID, WITHIN THE CURRENT SCENARIO OF INDUSTRY 4.0. IN ORDER TO EXPLORE THE RELATIONSHIPS THAT EXIST IN THESE CIRCUMSTANCES, A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW WAS CARRIED OUT IN A STRUCTURED AND STANDARDIZED MANNER. NO SIMILAR STUDIES WERE FOUND. SUCH RESEARCH AIMED TO FIND ASSOCIATIONS BETWEEN ADDITIVE MANUFACTURING, RFID AND IOT AND LEAN MANUFACTURING PRACTICES. AS A WAY OF ORGANIZING THE CONTENTS FOUND, A TABLE WAS CREATED CONTAINING THE TITLE, CENTRAL FOCUS OF EACH ARTICLE AND METHODOLOGY FOLLOWED BY IT. FINALLY, IT WAS POSSIBLE TO MAP THE RELATIONSHIPS BETWEEN RELEVANT TERMS OF THE CONTENT THAT HAS ALREADY BEEN PUBLISHED.*

Keywords: *SIMPEP; XXVII SIMPEP; LEAN MANUFACTURING; ADDITIVE MANUFACTURING; LITERATURE REVIEW; INDUSTRY 4.0; MATERIAL RECYCLING; GREEN MANUFACTURING*

1. Introdução

O *Lean Manufacturing*, ou manufatura enxuta, é uma filosofia de gestão que tem como princípio fazer com que as tarefas sejam executadas da forma mais rápida e com o menor de desperdício possível (GHOBADIAN et al., 2020).

Womack et al. (1990) descreve no seu livro “A máquina que mudou o mundo”, que inicialmente foi praticado no Japão pela empresa automotiva denominada Toyota na década de 1940 e desenvolvendo-se de maneira significativa após à Segunda Guerra Mundial, pois no contexto pós-guerra, era necessário que os processos fossem empregados de forma bem eficiente devido à ausência de recursos.

Bhamu e Singh (2014), afirmam que o *Lean* tem o objetivo de evitar ao máximo os tempos gastos com espera, transporte, movimentação desnecessária, estoques em excesso, processamento inadequado, correção de defeitos ou retrabalho, entre outros fatores que acabam impedindo a fluidez da produção e de modo geral se baseia seguintes princípios:

- Entender o que é **Valor** do ponto de vista do cliente;
- Identificação do **Fluxo de Valor**, ou seja, das etapas do processo agregam valor ao produto ou serviço prestado e reduzir ou eliminar as etapas que não agregam;
- Produção em **Fluxo Contínuo** para atender as necessidades dos clientes com rapidez , sem interrupções e com baixo estoque;
- Trabalhar com a **Produção Puxada**, de acordo com a demanda do cliente, e com isso evitar estoques desnecessários;
- **Busca da Perfeição** com a melhoria contínua dos processos, pessoas, produtos.

William M. D. (2014) comenta que a Indústria 4.0, que também é conhecida como a Quarta Revolução Industrial e que foi apresentada na edição de 2011 da Feira de tecnologia de Hannover na Alemanha. A Indústria 4.0 tem como pensamento a incorporação de tecnologias no cotidiano das empresas, tais como computação na nuvem, Internet das Coisas (IoT), análise de *big data*, manufatura aditiva, emprego massivo de robótica e inteligência artificial, entre outras.

Todos esses fenômenos vêm revolucionando bastante a forma com que as empresas têm trabalhado seus processos. Assim sendo, o setor industrial passou a mudar seu olhar em relação ao emprego da alta tecnologia em seus ambientes internos.

Nesse cenário, a Indústria 4.0 nada mais é do que a forte integração da tecnologia de

informação nas operações industriais e também na cadeia de suprimentos. O principal ganho da Indústria 4.0 é a criação das chamadas fábricas inteligentes, locais que têm a maioria de seus processos produtivos e de informação automatizados. Destaca-se a manufatura aditiva, IoT e RFID.

J. Flowers et al. (2002) descreve que a manufatura aditiva concebe qualquer peça por meio de *software* e *hardware* específicos e que o nome “aditiva” existe, pois, a impressora 3D adiciona a matéria prima camada por camada, sem a existência de eventuais desperdícios, aproveitando ao máximo o material, a partir de um modelo tridimensional elaborado em um *software* de CAD. Em termos de aproveitamento de material, a manufatura aditiva leva vantagem em relação aos métodos subtrativos, que costumam desperdiçar grande parte da matéria prima utilizada durante o processo de usinagem.

Segundo Mavri (2015) a *Internet das Coisas* (IoT) é utilizada para conexão de tecnologias, através da rede *internet*. Ela é um dispositivo eletrônico, que se comunica, por meio de wireless, com diferentes sistemas.

M. Mavri (2015) informa que a manufatura aditiva é uma tecnologia fundamental na quarta revolução industrial, chamada de indústria 4.0, que tem como objetivo a produção de produtos com alto valor agregado, construídos com o mínimo de mão de obra possível.

Isso porque a indústria 4.0 tem como base o método de produção fundamentalmente autônomo, cujos robôs e computadores como um todo, possuem “inteligência” que possibilite a produção de uma peça em todos os níveis, desde a concepção do produto até o processo de pós-venda.

O RFID é uma “antena”, que lê um sinal e transfere essa informação para outro dispositivo, por meio de rádio frequência. Ele detecta e identifica objetos, veículos, sem a necessidade de se coletar manualmente os seus dados individualmente (MAVRI, 2015).

A seguir será apresentando a metodologia, *Lean 4.0*, resultados, discussões e conclusões.

2. Metodologia

Para esta etapa, foi realizada uma pesquisa na literatura utilizando as seguintes duplas de palavras-chaves: *Lean* e IoT; *Lean* e RFID; *Lean* e *Additive Manufacturing*.

Procurou-se artigos que possuíssem tais combinações no título e/ou resumo e utilizou-se apenas aqueles que estivessem na língua inglesa. As bases de pesquisa utilizadas foram a *Science Direct, Emerald, Springer, T&F Online, Wiley Library e Scopus*.

A primeira varredura gerou como resultado 76 artigos e *papers*. Então, foram aplicados outros filtros, para se considerar apenas os artigos mais recentes e somente- artigos científicos publicados em *Journals* internacionais. Com isso, selecionou-se apenas os *papers* internacionais publicados entre os anos de 2017 e 2020 e, com isto, obteve-se como resultado 14 artigos. Foram desconsiderados artigos provenientes de conferências, revisões bibliográficas e livros. Após a execução dos filtros foi realizado a análise dos dados, discussão e apresentação dos resultados.

3. Contexto para o surgimento da Indústria 4.0

Para o entendimento da Indústria 4.0, é de importante apresentar outras revoluções industriais que vieram antes, apresentados na Figura 1.

FIGURA 1 – Revoluções Industriais (Reiner Anderl, 2014, com adaptações)



Lasi et al. (2014) descreve que a primeira revolução industrial aconteceu entre 1760 e 1840 na Grã-Bretanha com a introdução da máquina a vapor e, posteriormente, também esteve presente em outros países da Europa como, por exemplo França e Bélgica. Ela se destaca por introduzir a mecanização dos processos, fenômeno que se deu, sobretudo, com a

passagem da manufatura para o sistema fabril (REINER ANDERL, 2014).

A Segunda Revolução Industrial teve início entre os anos de 1870 e 1930. Ela é considerada um marco, pois foi nela que as fábricas passaram a utilizar a energia elétrica, o que possibilitou o surgimento das primeiras linhas de montagem e produção em massa de automóveis nos Estados Unidos com Henry Ford.

Por volta dos anos de 1970, surgiu a Terceira Revolução Industrial, com o utilização da tecnologia da informação nas operações das fábricas. Nesta época foram implementados *softwares* para auxiliar:

- Planejamento de recursos (MRPs – sigla em inglês para *Manufacturing Resources Planning* ou planejamento das necessidades de materiais em português, ERPs – *Enterprise Resource Planning* no inglês ou planejamento de recurso corporativo em português);
- Desenhos e cálculos de engenharia de projetos e de desenvolvimento de produtos. (CAD – *Computer Aided Design*, ou computador assistindo a elaboração de projetos ou desenhos em português) e CAE (*Computer Aided Engineering* ou computador assistindo os cálculos de engenharia);
- Manufatura com a introdução nas máquinas dos primeiros CNC (*Computer Numeric Control* ou Controle Numérico Computadorizado em português) e CAM (*Computer Aided Manufacturing* ou Computador Assistindo a Manufatura).

Foi também nessa época que houve a introdução dos primeiros robôs, os quais seriam responsáveis por desempenhar algumas atividades simples de forma automatizada.

A Quarta Revolução Industrial foi proposta para dar continuidade aos avanços tecnológicos e tem como principal ideia a comunicação máquina para o homem (ou vice versa) ou máquina para a máquina em tempo real. Também houve no avanço na automação com possibilidade das máquinas se autoautomatizar e se autoconfigurar, respondendo, de forma mais independente, às demandas do cliente final.

Dessa maneira, sem a necessidade de um plano de produção fixo, elas podem se adaptar às mudanças de oferta e demanda por meio das informações que podem estar nuvem. Na prática, isso significa, por exemplo, que as empresas estão se adaptando para trabalhar com as informações da plataforma de vendas integradas às das fábricas, o que propicia um atendimento muito mais ágil e preciso em relação às demandas dos clientes.

4. Relação entre *Lean* e Indústria 4.0.

A Indústria 4.0 reflete sobre as principais mudanças que essas inovações acarretam na gestão, pois há um aumento exponencial da utilização de tecnologias na área de comunicação e automação das empresas

Neste sentido Vergard (2018) defende que a criação de fábricas inteligentes gera um maior conhecimento e mais interação com os clientes e que por isso, pode-se saber e valoriza o que é importante para ele, e isso está intrinsecamente ligadas aos princípios do *Lean*.

5. Impactos da Indústria 4.0.

A.C Pereira et al. (2014) defende que as novas tecnologias permitem a interpretação do que o cliente define como valor com muito mais precisão e que, conseqüentemente, haja mais fluidez na relação com ele. Além disso, as fábricas inteligentes possibilitam um trabalho que se pauta mais pela demanda, que é um dos princípios do *Lean*.

Nortegubisian (2020) defende que todos os avanços da Indústria 4.0 contribuem para a busca da perfeição objetivo central do *Lean*, o que faz com que haja uma forte ligação entre os dois sistemas, segundo Nortegubisian (2020) também acrescenta que tanto o *Lean* como a Indústria 4.0 tem como princípio a agilidade na execução das tarefas e buscam a melhoria constante. Além disso, a automação, a integração dos processos com a tecnologia e a desburocratização proposta pela indústria 4.0 tem contribuído para a filosofia do *Lean* é fazer mais com menos.

Em resumo, quando a tecnologia começa a ser empregada de forma mais efetiva, existe também um desenvolvimento da manufatura enxuta que faz com que empresas passem a realizar suas atividades de maneira muito mais ágil e precisa.

A Indústria 4.0 destaca 9 pilares, que são fundamentais: Manufatura aditiva; *Internet* das coisas (IoT); Integração de sistemas; Segurança cibernética; *Big data*; Robôs autônomos; Simulação; Computação na nuvem; e Realidade aumentada.

Estes pilares existem para possibilitar a comunicação integrada, e a aplicação desse conceito na manufatura aditiva representa a busca por uma excelência operacional, viabilizando projetos de manufaturas que tradicionalmente seriam muito dispendiosos e demorados.

A tecnologia de manufatura aditiva é utilizada em diversos setores, sendo possível citar o setor automotivo e Bigrep (2020) enumera as vantagens da utilização da tecnologia de manufatura aditiva em uma fábrica da Ford na Inglaterra que são:

- Redução na fabricação de gabaritos e ferramental de montagem de noventa fixações de usinagem para apenas uma;
- A Produção não tem a necessidade de acompanhamento de operadores, as máquinas podem trabalhar de dia e de noite com as luzes apagadas;
- Redução do *lead time* das peças que com usinagem era em torno de oito a 9 semanas para dois ou três dias;
- Possibilidade de reutilizar ferramentas e gabaritos obsoletos para a fabricação de novas, triturando os materiais, o que torna o sistema altamente eficiente e amigável ao meio ambiente (Manufatura verde).

O Bigrep (2020) também afirma que a manufatura aditiva é viável para a produção de baixos lotes de produção e para produtos que os clientes exigem produtos personalizados.

6. Resultados e discussões

Com a revisão sistemática da literatura, montou-se a seguinte tabela, que relaciona as principais ideias levantadas por cada artigo e a metodologia utilizada em cada um deles Na interligação *Lean* e I.4.0.

TABELA 1 - Principais ideias e metodologia dos artigos encontrados.

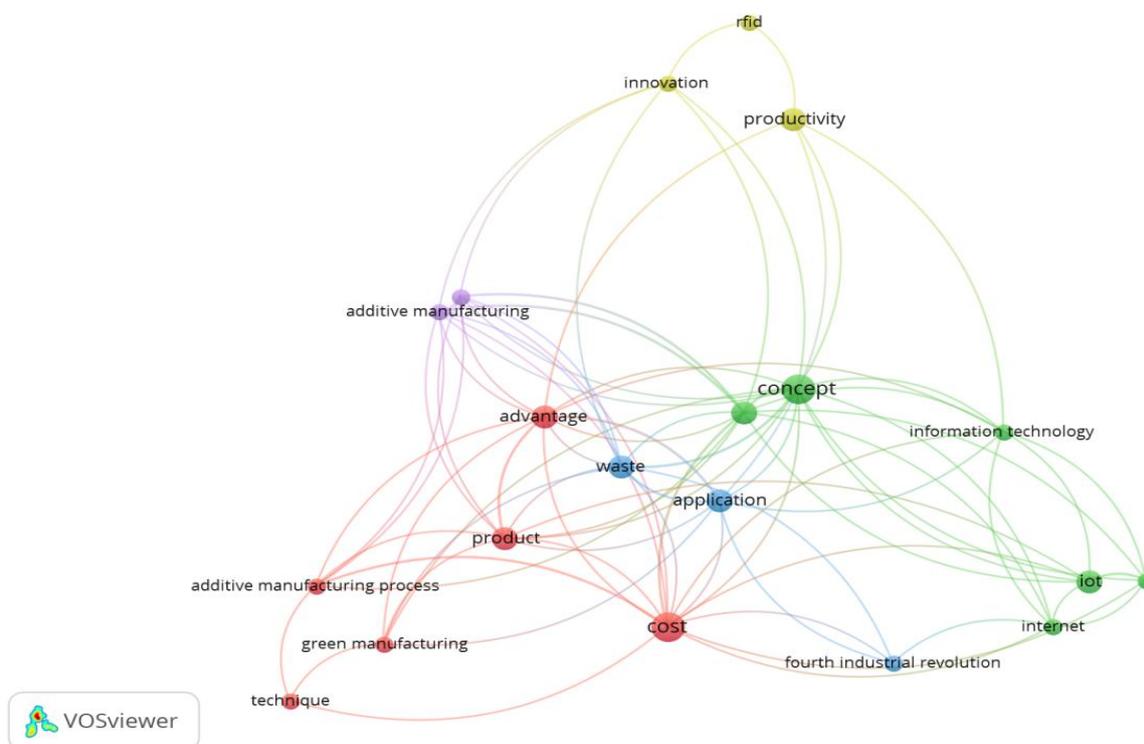
Título do artigo	Informação central	Metodologia usada
<i>An IoT-based production monitoring system for assembly line in manufacture</i> (MUSTHAFA et al. 2020)	O tempo de produção é muito importante para produzir um produto para garantir que o número alvo de produtos seja alcançado. Portanto, um sistema de monitoramento para um trabalhador em uma linha de montagem é desenvolvido para resolver esse problema usando o sistema IoT.	Esse experimento é realizado localizando o sistema de monitoramento da linha de montagem na última estação de trabalho de soldagem das partes traseiras internas do carro, que é o teste piloto dessa implementação. O resultado desse experimento é comparado entre o antes e o depois da implementação do sistema.
<i>Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction</i> (XU et al., 2018)	A adoção de tecnologias da informação é insuficiente e varia entre as pequenas e médias empresas, dificultando a melhoria da eficiência da construção pré-fabricada. Visando a construção pré-fabricada enxuta, este artigo propõe uma plataforma integrada de Internet das Coisas (IoT) baseada na nuvem, através da exploração do conceito de ativo na nuvem.	O modelo de operação da plataforma também foi elaborado para permitir que as PMEs adotem tecnologias de IoT de maneira econômica e flexível. Propõe-se um modelo de dados de ativos em nuvem unificada. Além disso, um módulo de compartilhamento de serviços de IoT é desenvolvido para oferecer suporte a diferentes níveis de compartilhamento de serviços na plataforma.

<p><i>Design for additive manufacturing: Benefits, trends and challenges</i> (DURAKOVIC, 2018)</p>	<p>Este documento explora tendências, questões e desafios no projeto de fabricação aditiva, incluindo custos associados, opções de projeto e considerações de qualidade usando o sistema IoT.</p>	<p>É feito um levantamento das pesquisas bibliográficas sobre o tema, bem como levanta-se pontos sobre como projetar para manufatura aditiva.</p>
<p><i>Digital and lean development method for 3D-printed reactors based on CAD modeling and CFD simulation</i> (BETTERMANN et al., 2019)</p>	<p>A modelagem CAD, como ponto de partida de um processo de fabricação aditivo, cria projetos em 3D, que podem ser avaliados diretamente por simulação de CFD. Questões desafiadoras relacionadas ao desempenho de um reator tubular podem ser visualizadas e redefinidas para criar iterativamente novas estratégias e soluções de maneira econômica em termos de tempo e custo.</p>	<p>A compatibilidade do projeto auxiliado por computador (CAD) com os softwares de dinâmica de fluidos computacional (CFD) foi usada para estabelecer um método de desenvolvimento digital e enxuto para reatores impressos em 3D, o que permite ciclos de desenvolvimento mais curtos e configuração de processo direcionada.</p>
<p><i>Evaluation of lean practices in warehouses: an analysis of Brazilian reality</i> (PEREIRA et al., 2020)</p>	<p>Este artigo tem como objetivo investigar as práticas de armazém <i>lean</i> mais aplicadas em armazéns brasileiros.</p>	<p>Para realizar esta pesquisa, três fases foram conduzidas: uma revisão da literatura, um estudo de caso múltiplo e uma análise da implementação das práticas de armazéns enxutos por um comitê de engenharia. Assim, foram utilizadas abordagens qualitativa e quantitativa.</p>
<p><i>Examining legitimization of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability</i> (GHOBADIAN et al, 2020)</p>	<p>Neste artigo, examina-se como a manufatura aditiva pode reduzir / eliminar significativamente o desperdício e como ela pode fornecer resultados no tripé da sustentabilidade em uma escala sem precedentes.</p>	<p>Este artigo identifica a legitimação como essencial para sua ampla difusão e desenvolve várias proposições que aceleram a legitimação da manufatura aditiva e seus impactos econômicos.</p>
<p><i>Improving manufacturing cycle efficiency through new multiple criteria data envelopment analysis models: an application in green and lean manufacturing processes</i> (DA SILVA et al., 2020)</p>	<p>Este trabalho propõe uma abordagem inovadora baseada na Análise de Envelope de Dados com Múltiplos Critérios para calcular um novo indicador para medir a eficiência dos processos produtivos através dos conceitos de Manufatura Verde (<i>Lean green</i>).</p>	<p>Este novo indicador foi aplicado em uma empresa com o objetivo de validá-lo e testá-lo. O teste de Levene foi usado para validar estatisticamente o procedimento proposto.</p>
<p><i>Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions</i> (SONY, 2018)</p>	<p>O objetivo deste artigo é propor um modelo de integração da Indústria 4.0 e <i>Lean Management</i>.</p>	<p>Uma revisão bibliográfica sumária da Indústria 4.0 e LM é realizada para construir um modelo teórico de integração. Propõe-se um modelo de integração da Indústria 4.0 e LM. Propostas de pesquisa testáveis são propostas entre Indústria 4.0 e LM.</p>

<p><i>Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs</i> (HUANG et al., 2018)</p>	<p>A aplicação do mapeamento do fluxo de valor em pequenas e médias empresas não é uma tarefa fácil. É apresentada uma ferramenta de visualização adequada, baseada no Node-RED®, para realizar o mapeamento dinâmico do fluxo de valor.</p>	<p>É proposto um sistema multiagente com tecnologia CPS para rastrear o fluxo do produto em uma fábrica. A tecnologia CPS vincula o agente físico e a representação virtual.</p>
<p><i>IoT-enabled dynamic lean control mechanism for typical production systems</i> (ZHANG et al., 2019)</p>	<p>Há uma falta de teoria sistemática sobre a estrutura de controle subjacente à produção enxuta. Portanto, é difícil conduzir pesquisas mais aprofundadas sobre a teoria Lean, especificamente no contexto de tecnologias emergentes como fabricação inteligente ou Indústria 4.0. Neste estudo, a teoria de controle de processo é usada para redefinir vários métodos e ferramentas principais do <i>lean</i>.</p>	<p>É proposta uma teoria de controle de estado ótimo orientada para a lean que integra esses métodos e ferramentas lean na teoria de controle de estado ótimo. No nível de método e mecanismo, adotou-se uma abordagem de sincronização recentemente emergida para obter a abrangência global de um sistema em larga escala.</p>
<p><i>Ranking of drivers for integrated lean-green manufacturing for Indian manufacturing SMEs</i> (GHANDI et al., 2018)</p>	<p>Neste artigo, os fatores determinantes para a fabricação enxuta e verde integrada são identificados a partir do suporte combinado da literatura existente e das opiniões de especialistas no campo relevante.</p>	<p>Os condutores são classificados usando métodos de tomada de decisão com vários critérios, como técnica para ordem de preferência por similaridade à solução ideal e ponderação aditiva simples em ambiente nebuloso, usando perspectivas ambientais, sociais e econômicas; no entanto, é obtida uma classificação consolidada pelo método borda.</p>
<p><i>Technology adoption and company performance: Correlation analysis with the evidence of Korean export companies' case</i> (SAWNG et al., 2018)</p>	<p>O objetivo deste artigo é fornecer implicações úteis para que as empresas exportadoras coreanas adotem a tecnologia inteligente para melhorar seu desempenho na era da convergência industrial com o estudo interdisciplinar entre comércio e gerenciamento de tecnologia.</p>	<p>Os itens de medição foram desenvolvidos em quatro fatores de desempenho. Coleta-se dados através da realização de dois tipos de pesquisas. O modelo foi verificado com modelagem de equações estruturais. O AHP foi utilizado para analisar a importância relativa de fatores e itens.</p>
<p><i>The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda</i> (BUER et al., 2018)</p>	<p>Tanto a indústria 4.0 quanto a manufatura enxuta utilizam controle descentralizado e visam aumentar a produtividade e a flexibilidade. Este artigo explora essa nova área e mapeia a literatura atual.</p>	<p>Faz-se uma metodologia sistemática de revisão de literatura. Este artigo identifica os principais fluxos de pesquisa sobre o vínculo entre a Indústria 4.0 e a manufatura enxuta, propõe pesquisa para estudos futuros.</p>
<p><i>The revolution Lean Six Sigma 4.0</i> (ARCIDIACONO et al, 2018)</p>	<p>A maioria das ferramentas do <i>Lean Six Sigma</i> depende de dados para conhecer problemas detalhados: eles são necessários para impulsionar qualquer melhoria de processo e se baseia na integridade dos dados e em tempo real. O objetivo deste artigo consiste em provar a eficiência do chamado "<i>Lean Six Sigma 4.0</i>".</p>	<p>Este artigo trata das abordagens de engenharia, aqui aplicadas no ambiente HealthCare, a fim de otimizar o processo de fornecimento de serviços e reduzir o desperdício de recursos (humanos e / ou materiais), além de melhorar a Qualidade da Experiência (QoE) dos pacientes.</p>

Além disso, utilizando o *software* VOSviewer, que permite mapear relações entre termos em textos, foi possível gerar o seguinte mapa com conceitos relevantes.

FIGURA 2 - Mapa conceitual relacionando termos relevantes presentes nos artigos estudados.



7. Conclusões

Com isso, foi possível observar a formação de cinco *clusters* de termos, sendo o *cluster* 1 composto de: *additive manufacturing*, *advantage*, *cost*, *green manufacturing*, *product* e *technique*. O *cluster* 2 foi formado por: *benefit*, *concept*, *effectiveness*, *information technology*, IoT e *internet*. O *cluster* 3 foi composto de *application*, *forth industrial revolution* e *waste*. Os termos *innovation*, *productivity* e *RFID* compuseram o *cluster* 4 e, finalmente, *additive manufacturing* e *full potential* formaram o quinto *cluster*.

Referências

- A.C.PEREIRA F.ROMERO A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. 2017.
- ARCIDIACONO, G.; PIERONI, A. The revolution Lean Six Sigma 4.0. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, v. 8, n. 1, p. 141–149, 2018.
- BETTERMANN, S. et al. Digital and lean development method for 3D-printed reactors based on CAD modeling and CFD simulation. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 152, p. 71–84, 2019.
- BHAMU, J. AND SINGH SANGWAN, K. (2014), "Lean manufacturing: literature review and research issues", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 34 No. 7, pp. 876-940.
- BIGREP – Ford Upscale their 3D printer with Bigrep. www.bigrep.com – Redefine additive (2020)

- BUER, S.-V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 2018
- DA SILVA, A. F. et al. Improving manufacturing cycle efficiency through new multiple criteria data envelopment analysis models: an application in green and lean manufacturing processes. *Production Planning and Control*, v. 0, n. 0, p. 1–17, 2020.
- DURAKOVIC, B. Design for additive manufacturing: Benefits, trends and challenges. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, v. 6, n. 2, p. 179–191, 2018.
- GANDHI, N. S.; THANKI, S. J.; THAKKAR, J. J. Ranking of drivers for integrated lean-green manufacturing for Indian manufacturing SMEs. *Journal of Cleaner Production*, v. 171, n. June 2008, p. 675–689, 2018.
- GHOBIAN, A. et al. Examining legitimization of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability. *International Journal of Production Economics*, v. 219, p. 457–468, 2020.
- HUANG, Z. et al. Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 52, n. November 2018, p. 1–12, 2019.
- J. FLOWERS AND M. MONIZ, “Rapid prototyping in technology education,” *Technology Teacher*, p. 7, 2002.
- LASI H., FETTKE P., KEMPER H.G., Feld T., Hoffmann M. *Industry 4.0 -Bus Inform Syst Eng*, 6 (4) (2014).
- M. MAVRI, Redesigning a Production Chain Based on 3D Printing Technology. *Knowledge and Process Management*, 22(3):141-147, 2015.
- MUSTHAFA, M. D. A. et al. An IoT-based production monitoring system for assembly line in manufacture. *International Journal of Integrated Engineering*, v. 12, n. 2, p. 38–45, 2020.
- NORTEGUBISIAN Consultoria e Treinamento - <https://www.industria40.ind.br/artigo/19520-lean-e-a-industria-40-voce-sabe-qual-e-essa-relacao> - 26/02/2020
- PEREIRA, C. M. et al. Evaluation of lean practices in warehouses: an analysis of Brazilian reality. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2020.
- REINER ANDERL, 2014 - *Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production*. Technische Universität Darmstadt, Chair for Computer Integrated Design, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion.
- SAWNG, Y. W. et al. Technology adoption and company performance: Correlation analysis with the evidence of Korean export companies’ case. *Journal of Korea Trade*, v. 22, n. 2, p. 143–161, 2018.
- SONY, M. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production and Manufacturing Research*, v. 6, n. 1, p. 416–432, 2018.
- VEGARD B., SVEN, OLA S., JAN, CHAN T. S. FELIX. The link between industry 4.0 and lean manufacturing. Pages 2924-2940 | Received 22 Feb 2017, Accepted 05 Feb 2018, Published online: 02 Mar 2018.
- XU, G. et al. Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction. *Automation in Construction*, v. 93, n. September 2017, p. 123–134, 2018.
- WILLIAM M. D. 2014. *Industrie 4.0 - Smart Manufacturing For The Future*. Berlin: Germany Trade & Invest.
- WOMACK, JAMES P et. Al.. *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*, New York. Rawson associates
- ZHANG, K. et al. IoT-enabled dynamic lean control mechanism for typical production systems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, v. 10, n. 3, p. 1009–1023, 2019.