



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:
Limitações e possibilidades**

XXXI SIMPEP
www.simpep.febr.unesp.br

SUSTENTABILIDADE E MANUFATURA ENXUTA: MAPEAMENTO CIENTÍFICO DA LITERATURA

RAFAELA BOMFIM RODRIGUES – rafaela.2149732@discente.uemg.br

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS – UEMG

PAULO HENRIQUE AMORIM SANTOS – paulo.amorim@uemg.br

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS – UEMG

JOSÉ DA SILVA FERREIRA JUNIOR – jose.junior@uemg.br

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS – UEMG

ÁREA: 9 – ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE

SUBÁREA: 9.7 – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

RESUMO: O PRESENTE ARTIGO VISA EXPLORAR A CONVERGÊNCIA ENTRE CAMPO DE PESQUISA DE MANUFATURA ENXUTA E DE SUSTENTABILIDADE. O MÉTODO DE PESQUISA UTILIZADO FOI O MAPEAMENTO CIENTÍFICO DA LITERATURA, UTILIZANDO BIBLIOMETRIA DESCRITIVA E ANÁLISE DE REDES SOCIAIS COM OS SOFTWARES R BIBLIOMETRIX E VOS VIEWER. COMO RESULTADOS, ANALISARAM-SE OS PRINCIPAIS TEMAS, TENDÊNCIAS, AUTORES E PRODUTORES DE CONHECIMENTO, FORNECENDO UMA VISÃO CRÍTICA PRINCIPALMENTE SOBRE O FUTURO DAS PESQUISAS E PRÁTICAS DESTAS ÁREAS. O ESTUDO IDENTIFICOU TRÊS TEMAS PRINCIPAIS DE CONVERGÊNCIA: FERRAMENTAS DA MANUFATURA ENXUTA E MANUFATURA SUSTENTÁVEL; DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE; E INDÚSTRIA 4.0 E MELHORIA CONTÍNUA. AS INTERPRETAÇÕES MOSTRAM QUE A INTERCONEXÃO ENTRE ESSES TEMAS É CRUCIAL PARA A IMPLEMENTAÇÃO BEM-SUCEDIDA DA MANUFATURA ENXUTA E MELHORIA DAS TRÊS DIMENSÕES DE SUSTENTABILIDADE.

PALAVRAS-CHAVE: LEAN PRODUCTION, BIBLIOMETRIA, TENDÊNCIAS DE PESQUISA, MELHORIA CONTÍNUA.

1. INTRODUÇÃO

Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão passou por um período de reconstrução e transformação econômica que ficou conhecido como o "milagre econômico japonês", no qual o país conseguiu se recuperar rapidamente dos estragos da guerra e se tornou uma potência industrial e tecnológica global (Fukuda *et al.*, 2018; Womack; Jones, 2015). Um dos pilares desta recuperação e que auxiliou o modo de se produzir no mundo todo foi o caso da empresa Toyota, empresa multinacional japonesa de automóveis fundada em 1937, que enfrentava o reflexo da competitividade com as grandes empresas automotivas americanas que tinham acesso a mais recursos e uma produção em massa altamente eficiente (Liker, 2021). Para enfrentar esse desafio, a equipe desenvolveu uma abordagem de produção focada na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua, intitulada *Lean Production* ou Manufatura enxuta. A partir disto, tal abordagem é amplamente adotada por diversas outras empresas, tanto no Japão quanto no planeta inteiro, com o foco em eliminar desperdícios, maximizar a produtividade, ter eficiência operacional e aumentar a entrega de valor aos clientes (Yang *et al.*, 2011).

Outros pilares que auxiliaram nos meios de produção do mundo foi o gerenciamento da qualidade e o avanço da sustentabilidade, que, de acordo com Elkington (2006), emergem como fundamentais para o sucesso e a relevância de qualquer organização. Trata-se de um modelo de gestão empresarial em que se industrializa de forma a satisfazer as necessidades humanas e melhorar a qualidade de vida, ao mesmo tempo que reduz progressivamente os impactos ecológicos e a intensidade dos recursos ao longo do seu ciclo de vida, mantendo o equilíbrio do planeta (Cherrafi *et al.*, 2016; Savitz; Weber, 2014).

Direcionar esforços para estes três pilares não apenas melhora a eficiência interna, mas também proporciona uma série de vantagens que impactam positivamente a empresa e o meio ambiente. Segundo Yang *et al.* (2011), a prática convergente destes três temas pode influenciar positivamente a gestão ambiental das empresas, resultando em melhorias no desempenho ambiental e, conseqüentemente, no desempenho de mercado e financeiro. Ou seja, organizações que adotam a manufatura enxuta podem incorporar o pensamento sustentável e a redução de resíduos para que tenham benefícios na avaliação, gestão, coordenação e monitoramento das atividades ambientais, melhoria na logística, minimização de impactos sociais e ambientais, entre outros (Santos; Lizarelli, 2023; Yang *et al.*, 2011). Ao integrar as práticas da manufatura enxuta com a sustentabilidade, desenvolvem-se estratégias sustentáveis que consideram impactos ao longo de toda a cadeia de valor (Faulkner; Badurdeen, 2014; Womack; Jones, 2015).

Como exemplo desta convergência, Helleno e Moraes (2017) dissertam sobre a necessidade de se integrar um novo grupo de indicadores de sustentabilidade nas ferramentas e técnicas de manufatura enxuta, sendo a VSM uma das mais importantes nesse processo de avaliação. Em outro exemplo, Faulkner e Badurdeen (2020) propõe a extensão de uma ferramenta da Manufatura Enxuta, o Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping*), para incluir impactos ambientais e sociais: o *Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM)*. Esta nova abordagem permite avaliar a sustentabilidade na manufatura, considerando aspectos como eficiência energética, uso de recursos naturais, impactos ambientais, segurança dos funcionários, responsabilidade social e viabilidade econômica.

Taddeo *et al.* (2019) também relacionam as práticas de manufatura enxuta que podem ser utilizadas como catalisadoras para tornar as cadeias de suprimentos mais sustentáveis, reduzindo o fluxo de insumos e componentes que gera a redução na extração, produção, embalagem, manuseio e transporte de materiais. Já Brito *et al.* (2023) elaboraram um questionário para avaliar as práticas de sustentabilidade em diversas empresas de Pernambuco em conjunto com os benefícios percebidos pelos respondentes.

Contudo, o estudo sobre o campo de pesquisa que associa a manufatura enxuta à sustentabilidade é limitado, ou seja, existe uma lacuna relacionada a necessidade de se melhorar o entendimento entre as práticas de manufatura enxuta e desempenho sustentável (Faulkner; Badurdeen, 2020).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi explorar a relação entre manufatura enxuta e sustentabilidade teoricamente, por meio de uma pesquisa bibliométrica. Para direcionar o mapeamento científico, foram propostas três perguntas de pesquisa, seguindo o modelo de Lopes-Robles *et al.* (2019):

1. Como as pesquisas sobre o relacionamento destes temas tem se desenvolvido (estrutura intelectual)?
2. Quais são os principais temas e tendências de convergência (estrutura conceitual)?
3. Quem são os principais produtores de conhecimento desta simbiose (estrutura social)?

Para tanto, este artigo se subdivide em uma fundamentação teórica abordada na Seção 2 sobre os dois principais temas apresentados. Já no capítulo seguinte é apresentado o método de pesquisa utilizado para alcançar o objetivo proposto. Em seguida, são exibidos os resultados da busca bibliométrica na seção 4, finalizando a discussão em relação à fundamentação teórica na última seção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Manufatura Enxuta

A origem da manufatura enxuta remete a 1948. Reichhart e Holweg (2007) retrata que Taiichi Ohno começou a implementar conceitos de produção em lotes pequenos na Toyota focando reduzir custos e eliminar desperdícios, inspirado por sua experiência de um tear automático que parava quando o fio quebrava, com o objetivo de não desperdiçar material ou tempo da máquina. Desde então, o *Lean Production* tem sido amplamente adotado no mundo inteiro.

A manufatura enxuta pode ser composta por um conjunto de técnicas e ferramentas, conforme Liker (2021) e Yoshino (2008), sendo compiladas no Quadro 1. Abdulmalek e Rajgopal (2007) destacam que ela é mais comumente aplicada na manufatura discreta do que no setor contínuo/processo, devido as suas especificidades. Segundo os mesmos autores, essas ferramentas podem ser adaptadas para o setor de processos, resultando na eliminação de desperdícios e melhoria da eficiência operacional.

QUADRO 1 – Ferramentas/Técnicas da Manufatura Enxuta

Ferramenta/ Técnica	Descrição
5S	Método de gestão de qualidade que promove a organização e a limpeza no ambiente de trabalho para melhorar a eficiência e a segurança.
<i>Kaizen</i>	Melhoria contínua através de pequenas mudanças incrementais com envolvimento de todos os níveis da organização.
<i>Kanban</i>	Sistema de cartões que controla o fluxo de produção e estoques, sinalizando a necessidade de reposição de materiais.
<i>Just-In-Time (JIT)</i>	Produzir somente o que é necessário, na quantidade necessária e no momento necessário, reduzindo estoques e lead times.
<i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	Mapear e analisar o fluxo de materiais e informações desde o pedido do cliente até a entrega do produto, identificando áreas de desperdício.
<i>Poka-Yoke</i>	Dispositivos ou técnicas à prova de erros que evitam falhas humanas nos processos de produção.
<i>Total Productive Maintenance (TPM)</i>	Manutenção produtiva total, visando maximizar a eficiência dos equipamentos através de manutenção preventiva e melhorias contínuas.
<i>Single-Minute Exchange of Die (SMED)</i>	Técnica para reduzir drasticamente o tempo de setup de máquinas e equipamentos, aumentando a flexibilidade e eficiência da produção.
<i>Heijunka</i>	Nivelamento da produção para reduzir variação e desperdício, equilibrando a carga de trabalho e o mix de produtos.
<i>Gemba Walk</i>	Prática de ir ao local onde o trabalho é realizado para observar e entender o processo, identificar problemas e promover melhorias.
<i>Andon</i>	Sistema de sinalização visual ou auditiva que alerta sobre problemas na linha de produção, permitindo uma resposta rápida e eficiente.
<i>Jidoka</i>	Automatização com um toque humano, onde máquinas param automaticamente ao detectar um defeito, permitindo a resolução imediata do problema.
<i>Takt Time</i>	Ritmo de produção necessário para atender a demanda do cliente, calculado com base no tempo disponível e na demanda.

Fonte: Os Autores (2024).

2.2. Sustentabilidade

Deve-se considerar a sustentabilidade como um elemento essencial na gestão da manufatura, buscando alcançar um equilíbrio entre eficiência operacional, responsabilidade ambiental e impacto social positivo (Cherrafi *et al.*, 2016). A sustentabilidade estabelece um equilíbrio entre a necessidade de suprir as demandas humanas e a preservação do meio ambiente.

O conceito da sustentabilidade vem sendo abraçado por grandes empresas que entendem que a adoção de processos sustentáveis é fundamental e, nesse contexto, o *Triple Bottom Line* (TBL) é o foco, em português, o termo mais usado é “Tripé da Sustentabilidade ou Pilares da Sustentabilidade”, formado pelas dimensões ambiental, social e econômica (Ferrer *et al.*, 2022). Esta tridimensionalidade tem origem em Elkington (2006), o qual popularizou o TBL, discorrendo que a sustentabilidade se fundamenta em um equilíbrio entre as dimensões econômica, ambiental e social. Ademais, esse conceito refletiu significativamente o modo como as empresas, governos e organizações compreendem e abordam a sustentabilidade. O TBL se tornou uma referência para a avaliação do desempenho empresarial e para a definição de estratégias que buscam um futuro mais sustentável (Drucker, 1984).

Cherrafi *et al.* (2016), Savitz e Weber (2014), Slaper e Hall (2011) e Elkington (2006) citam exemplos de táticas do pensamento sustentável na dimensão ambiental do TBL:

- a) diminuição da geração de resíduos;
- b) adoção de práticas de reutilização e reciclagem;
- c) preservação do meio ambiente natural (flora e fauna);
- d) restrições nas emissões de gases do efeito estufa;
- e) proteção dos ecossistemas;
- f) consumo consciente de energia, materiais, água e recursos naturais;
- g) utilização de fontes alternativas de energia;
- h) estímulo à eficiência energética;
- i) minimização da poluição;
- j) criação, manutenção e revitalização de áreas verdes nas cidades, principalmente nos grandes centros urbanos.

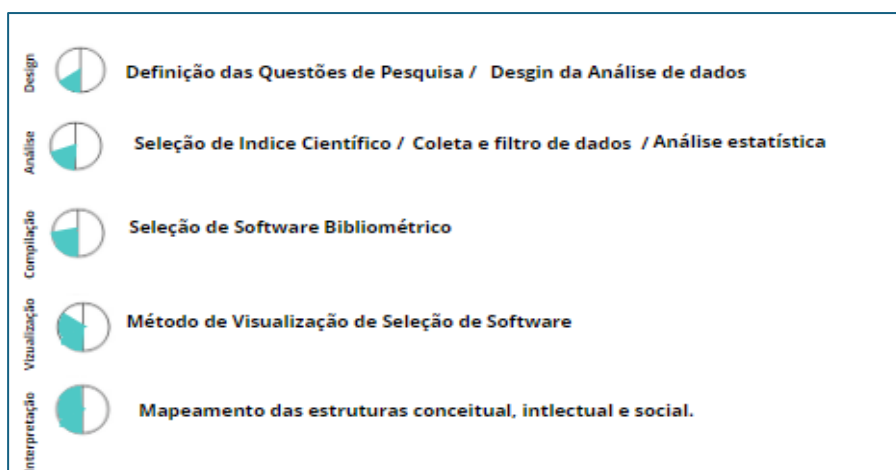
Por fim, a conexão entre manufatura enxuta e sustentabilidade inclui redução de desperdícios, eficiência energética, qualidade e durabilidade, e o desenvolvimento dos funcionários e cadeia de suprimentos sustentável. A aplicação desse método em estudos de caso

demonstrou diferentes níveis de sustentabilidade dos processos de manufatura, permitindo o desenvolvimento de cenários aprimorados pela melhoria contínua (Helleno; Moraes, 2017).

3. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado neste estudo foi o mapeamento científico por meio de bibliometria descritiva e análise de redes sociais, o qual oferece resultados de forma sistemática, transparente e com possibilidade de replicações, baseada em funções estatísticas que mensuram a ciência, o pesquisador e a atividade científica (Aria; Cuccurullo, 2017; Zupic; Carter, 2015). O procedimento adotado baseia-se nos passos propostos por Zupic e Cater (2015) conforme mostrado na Figura 1.

FIGURA 1 - Passos do método de pesquisa para mapeamento científico



Fonte: Adaptado de Zupic e Cater (2015).

Na primeira etapa, de design, organizaram-se as três perguntas que orientam a investigação sobre a relação entre sustentabilidade e manufatura enxuta, conforme capítulo 1 do trabalho. Para explorar essa conexão de maneira abrangente, adotou-se um design baseado na análise das estruturas do conhecimento: intelectual, conceitual e social, conforme formatado por Lopes-Robles *et al.* (2019).

Para a seleção e coleta de dados, foi escolhida a plataforma indexadora Web of Science, assim como realizado no trabalho de Oliveira *et al.* (2023). Foi executada a busca pela string: (TS = “lean manufacturing” AND “sustainability” AND “scientific mapping”) AND IDIOMA (English) AND TIPOS DE DOCUMENTOS (Article AND Early Access OR Review).

Para a terceira fase, de compilação, deve-se escolher o software para auxiliar na bibliometria. O processamento da amostra foi realizado por meio do pacote R Bibliometrix e

do software VOS Viewer. A análise bibliométrica (Bibliometrix) descritiva permitiu identificar os principais autores, periódicos e publicações relevantes na pesquisa sobre liderança e gestão da qualidade. A análise de redes sociais (VOS Viewer) nos possibilitou construir mapas que relacionam documentos, autores e temas.

Já para a etapa de visualização, os softwares mencionados anteriormente foram utilizados, gerando gráficos e tabelas com base nos metadados dos documentos extraídos do Web of Science, utilizando as ideias de elaboração gráfica de Oliveira *et al.* (2023) e incluindo outros vindouros tanto do R Bibliometrix quanto do Vox Viewer. Além disso, utilizou-se o Microsoft Excel® para elaboração de gráficos adicionais na pesquisa.

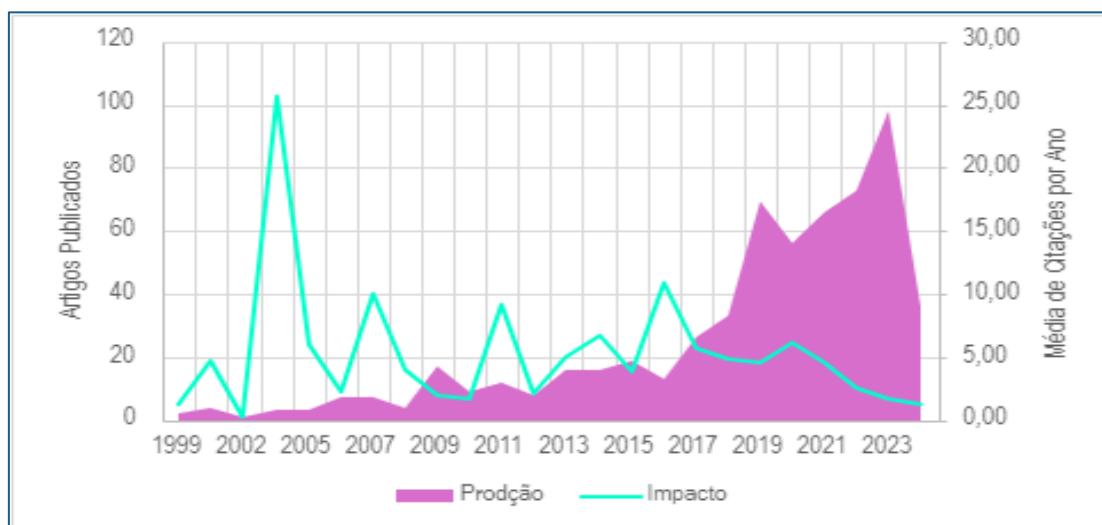
Por fim, a última etapa descrita por Zupic e Carter (2015) é a interpretação. Nela os resultados foram interpretados de acordo com as evidências coletadas nos mapas resultantes, que incluem a coocorrência de palavras-chave (estrutura conceitual), a coautoria (estrutura social) e a rede de citação de documentos (estrutura intelectual).

4. RESULTADOS

A coleta foi realizada em 09/05/2024, e resultou em um total de 598 conjuntos de metadados extraídos do banco de dados do Web of Science com a string anteriormente informada, tendo o filtro adicional de período de publicação, o qual foi descrito de 1999 a 2024.

Primeiramente, caracterizou-se a amostra na Figura 2 em termos da produção científica do campo e seu impacto. Percebe-se que existiu um crescimento na produção científica mais significativa a partir de 2017, acompanhado de um aumento expressivo a partir de 2019, alcançando um máximo de 92 publicações em 2021. O número de artigos obteve um aumento médio de 12.26% anual e percebe-se um principal pico de impacto em 2004 (26 citações/ano), conforme ilustrado na linha verde.

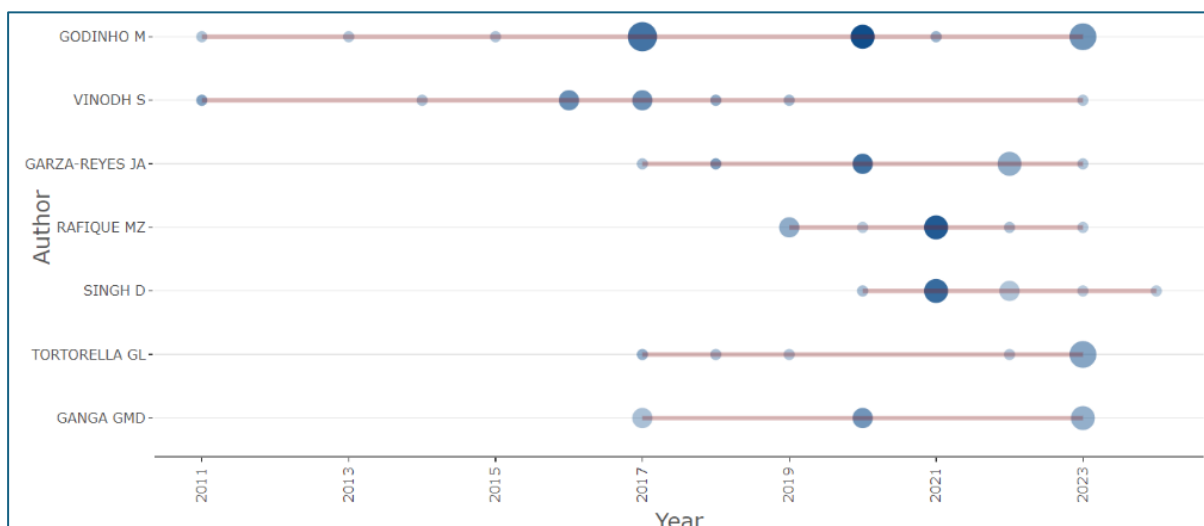
FIGURA 2 - Produção científica anual e impacto



Fonte: Os Autores (2024).

Os principais autores da amostra são apresentados na Figura 3 de acordo com sua produção e impacto. Desse modo, a interpretação se dá pelo tamanho das bolhas que retratam o número de artigos publicados, e a intensidade da cor número de citações por ano. É possível analisar que os principais autores publicaram entre 2011 e 2023 tendo um valor mais expressivo de 2017 a 2023.

FIGURA 3 - Produção científica e impacto dos principais autores



Fonte: Os Autores (2024).

A Tabela 2, apresenta os principais periódicos entre os 250 identificados e seus índices H. *Sustainability* apresenta o maior número de publicações da amostra (43), seguido de *Journal of Cleaner Production* (36), gerando a percepção que grande parte das publicações são encaminhadas para a área de sustentabilidade com ferramentas do *Lean Production* incorporadas. Também se destacam o *International Journal of Lean Six Sigma* (31), o *International Journal of Productions Research* (27) e o *Production planning & Control* (27).

TABELA 2- Principais periódicos do campo

Periódico	Artigos	País	Índice H
SUSTAINABILITY	43	Suíça	169
J. OF CLEANER PRODUCTION	36	Reino Unido	309
INT. J. OF LEAN SIX SIGMA	31	Reino Unido	52
INT. J. OF PRODUCTION RESEARCH	27	Reino Unido	186
PRODUCTION PLANNING & CONTROL	27	Reino Unido	104
J. OF MANUF. TECHNOLOGY MANAGEMENT	22	Reino Unido	93
INT. J. OF ADVANCED MANUF. TECHNOLOGY	19	Reino Unido	161
INT. J. OF PRODUCTION ECONOMICS	10	Holanda	231
TQM J.	10	Reino Unido	79

Fonte: Os Autores (2024).

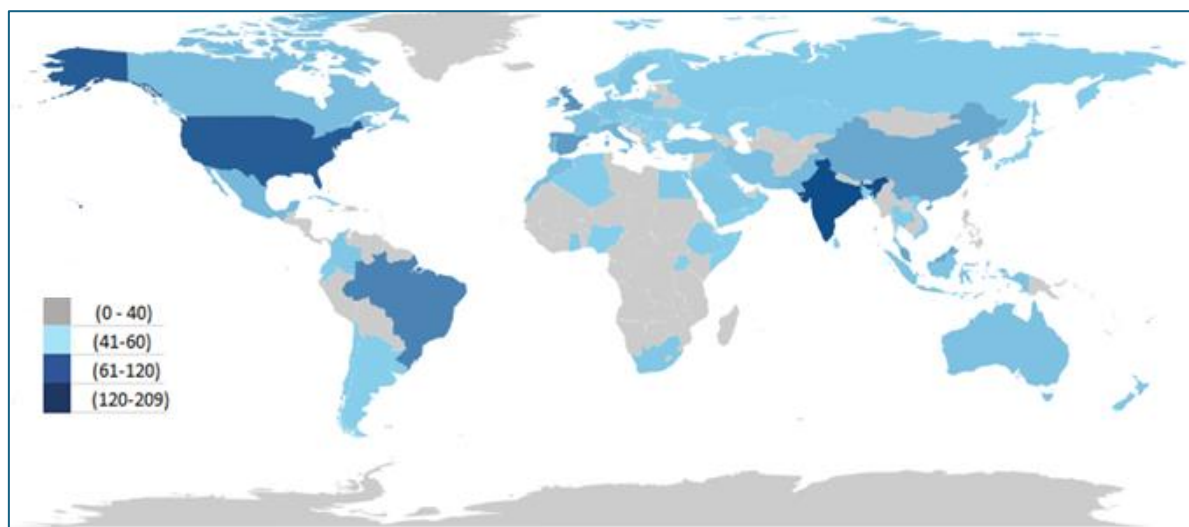
A tabela 3 apresenta os artigos de maior impacto da amostra em termos de citações locais. Explanando os cinco primeiros, Yang *et al.* (2011) explora como a manufatura enxuta pode aprimorar a gestão ambiental, resultando em melhores desempenhos ambiental e financeiro. Faulkner e Badurdeen (2014) destaca a importância de alinhar práticas de produção com a sustentabilidade, propondo a extensão do mapeamento do fluxo de valor para incluir impactos ambientais e sociais. Cherrafi *et al.* (2016) realiza uma revisão sistemática da literatura, sublinhando os desafios globais e a necessidade de considerar a sustentabilidade como um critério competitivo emergente. Já Abdelmalek e Rajgopal (2007) aplicam princípios da manufatura enxuta em uma usina siderúrgica, mostrando como técnicas do Lean podem otimizar processos e reduzir desperdícios. E Reichhart e Holweg (2007) aborda a evolução do sistema de produção enxuta na indústria, destacando a importância da pesquisa do MIT para entender a eficiência industrial e a conexão entre a produção enxuta e a sustentabilidade. Esses estudos coletivamente demonstram que alinhar práticas enxutas com princípios da sustentabilidade promove uma abordagem mais eficiente e responsável na manufatura.

TABELA 3 – Documentos da amostra com maior impacto

Artigo	Citação Local	Citação Global
YANG MG <i>et al.</i> , 2011, INT J PROD ECON	70	600
FAULKNER W; BADURDEEN, 2014, J CLEAN PROD	53	251
CHERRAFI <i>et al.</i> , 2016, J CLEAN PROD	53	282
ABDULMALEK; RAJGOPAL, 2007, INT J PROD ECON	46	514
REICHHART; HOLWEG M, 2007, J OPER MANAG	42	667
ROTHENBERG S, 2001, PROD OPER MANAG	37	344
HELLENO; MORAES, 2017, J CLEAN PROD	37	147
VINODH S, 2011, CLEAN TECHNOL ENVIR	33	139
THANKI S, 2016, J CLEAN PROD	33	227
SAJAN MP, 2017, J MANUF TECHNOL MANA	33	118
HENAO R, 2019, J CLEAN PROD	33	135

Fonte: Os Autores (2024).

FIGURA 4 – Produção Científica de Países

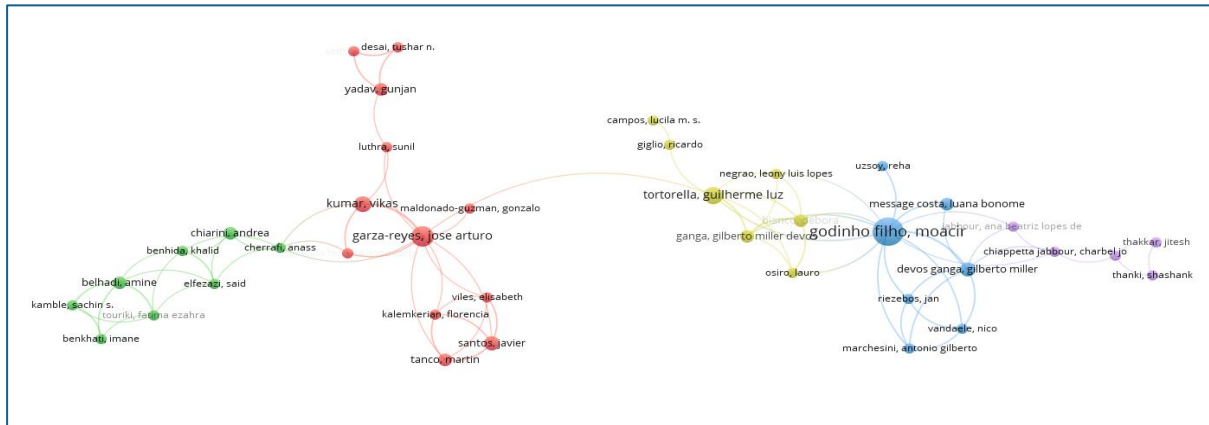


Fonte: Os Autores (2024).

O mapeamento da estrutura social foi feito mapeando países mais produtivos (Figura 4) e pela rede de coautoria entre autores mais produtivos (Figura 5). É possível perceber na Figura 4 maior produtividade dos Estados Unidos. Já a Figura 5 apresenta os principais autores, discriminados em 5 *clusters* de compartilhamento, coautoria e convergência distintos, sendo ilustrados nas cores verde, vermelho, verde, azul e roxo.

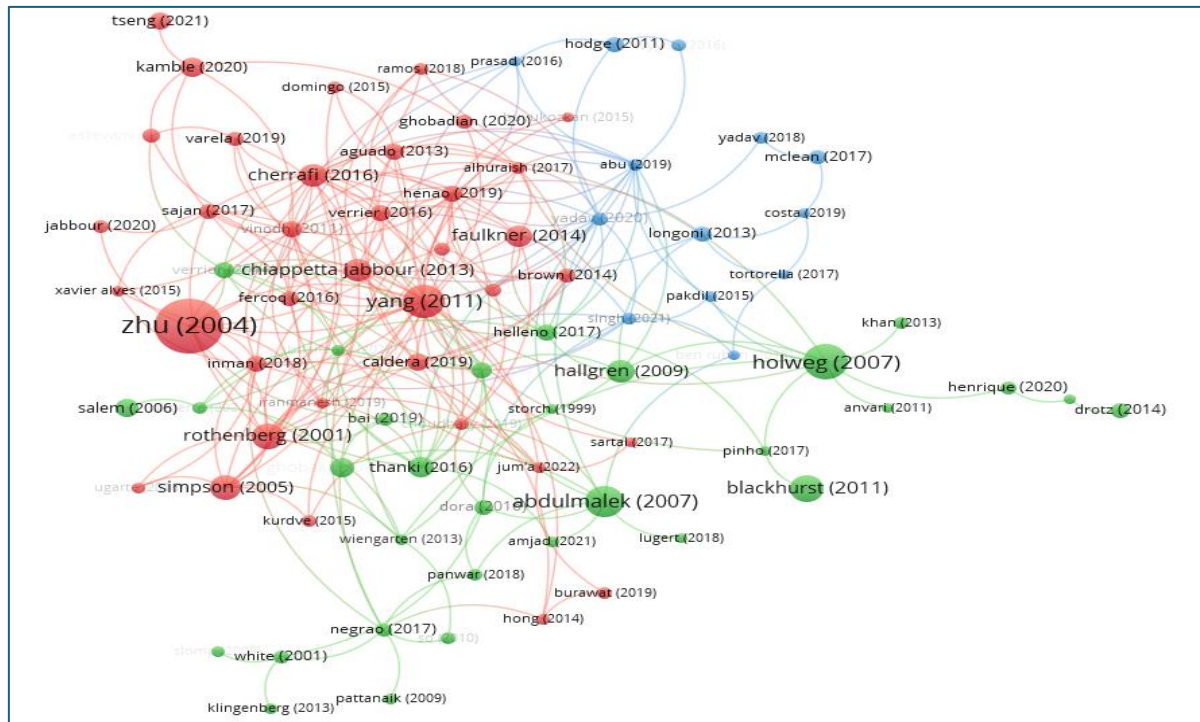
O mapeamento da estrutura intelectual foi feito pela análise de citações ilustrada na Figura 6. O foco dos artigos mais citados pode ser dividido em três *clusters*: foco na implantação (azul); foco em sustentabilidade (vermelho); e foco em desempenho (verde). Temas auxiliares incluem as tecnologias da Indústria 4.0, outras abordagens de melhoria contínua (como o Seis Sigma), e setores específicos, como o de saúde.

FIGURA 5 – Coautoria entre autores mais produtivos



Fonte: Os Autores (2024).

FIGURA 6 – Rede de citações



Fonte: Os Autores (2024).

A estrutura conceitual foi ilustrada pela análise de coocorrência de palavras-chave, uma técnica de análise de conteúdo que utiliza as palavras em um documento para estabelecer relações (Zupic; Cater, 2015). A Figura 7 ilustra a relação entre as palavras-chave mais recorrentes nos artigos da amostra coletada do Web of Science.

A estrutura intelectual é caracterizada por três clusters principais: foco na implantação; foco em sustentabilidade; e foco em desempenho, conforme demonstrado na Figura 6 que analisa as redes de citações.

2. *Quais são os principais temas e tendências (estrutura conceitual)*: Os principais temas e tendências emergentes no campo estão relacionados a ferramentas da manufatura enxuta, manufatura sustentável, desempenho, sustentabilidade, Indústria 4.0 e melhoria contínua. A análise de coocorrência de palavras-chave revela três clusters temáticos distintos (Figura 7) que refletem uma preocupação crescente com práticas de produção sustentáveis e eficientes, alinhadas com princípios de gestão ambiental e desempenho econômico. A manufatura enxuta é vista como uma influência positiva as práticas de gestão sustentável de empresas relacionadas ao desempenho ambiental, financeiro e social das empresas (Yang *et al.*, 2011). As evidências reforçam sobre a importância da sustentabilidade como um dos pilares da produção moderna (Womack; Jones, 2015). Ademais, uma lacuna é contemplada pela necessidade de integrar um novo grupo de indicadores de sustentabilidade em outras ferramentas e técnicas de manufatura enxuta além do VSM (Helleno; Moraes, 2017).

3. *Quem são os principais produtores de conhecimento (estrutura social)*: Os principais produtores de conhecimento neste campo são identificados por meio da produção científica de países influentes como os Estados Unidos, Índia e Reino Unido, conforme indicado pela análise do mapeamento. Esses países não apenas contribuem com um número significativo de publicações, mas também participam ativamente de redes de coautoria, evidenciando sua liderança na produção de conhecimento neste campo. Grupos de pesquisadores já experientes no campo foram identificados, assim como periódicos mais importantes como *Sustainability* e *Journal of Cleaner Production*.

Corroborar-se também com Ferrer *et al.* (2022), ao enfatizar que a convergência entre os temas faz da manufatura sustentável um bom caminho a ser seguido, diante dos exemplos e trabalhos apresentados. Tais práticas tornam os processos mais eficientes, menos prejudiciais ao meio ambiente e com responsabilidade social. Ao encontro de Brito *et al.* (2023), também se percebe, que são poucas as iniciativas ambientais em meios produtivos com o Lean, mesmo em empresas de projetos ou cujo foco é a sustentabilidade, o que nutre perspectivas de aperfeiçoamentos e melhorias neste campo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento do trabalho foram analisados os principais autores, periódicos e tendências a respeito da convergência entre os temas da Produção Enxuta e Sustentabilidade. Para tanto, seguiu-se o roteiro de pesquisa bibliométrica e análise de redes sociais, coletando no banco de dados Web of Science os metadados entre 1999 e 2024, com 598 trabalhos.

Utilizou-se para análise os softwares R Bibliometrix e Vos Viewer, com auxílio do MsExcel, gerando gráficos, quadros e tabelas para compreender melhor o desenvolvimento de ambos os temas.

Os cinco principais autores encontrados foram transpostos para este artigo, demonstrando práticas sobre a convergência entre os temas e estudos teóricos também sobre eles. Também se vislumbrou as principais tendências de pesquisa. Como exemplo, a compressão de como as ferramentas do *Lean Production* podem ser mais bem integradas às estratégias sustentáveis foi identificada como uma das áreas promissoras para investigações futuras. Há ainda a necessidade de explorar novas ferramentas da manufatura enxuta para este fim de convergência com a sustentabilidade.

Como facilidades do trabalho, destaca-se que a utilização do método proposto de bibliometria foi considerado prático e a utilização dos softwares em conjunto foi bem vista pelos pesquisadores. Como dificuldades, a geração da string de busca gerou certo receio em vista de se ter mais de um termo, que poderia gerar dados fora do escopo do trabalho, mas ao final, os trabalhos principais e os temas efluentes da pesquisa se mostraram direcionados ao intuito deste artigo.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se utilizar este mesmo banco de dados e tabular o como foram realizadas as implantações ou utilizações das ferramentas da produção enxuta com os temas de sustentabilidade em cada um dos artigos práticos. Também se sugere a busca dos principais tipos ou nichos empresariais em que se focou a convergência destes temas nos artigos do banco de dados. Por fim, explicita-se que esse trabalho não só contribuiu para compreensão do estado atual da convergência entre manufatura enxuta e sustentabilidade, mas uma análise crítica quanto as possíveis áreas de avanço dessa área.

REFERÊNCIAS

- ABDULMALEK, Fawaz A.; RAJGOPAL, Jayant. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **International Journal of Production Economics**, v. 107, n. 1, p. 223-236, 2007.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- BRITO, M. C. R.; SILVA, M. F. V. O. B.; MELO, F. J. C.; SOBRAL, E. F. M.; GUIMARÃES JUNIOR, D. S. Aplicação de Modelo de sustentabilidade 4.0: um estudo em empresas de manufatura. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30, 2023, Bauru/SP. **Anais do XXX SIMPEP 2023**.
- CHERRAFI, Anass *et al.* The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 828-846, 2016.
- DRUCKER, Peter. **The daily Drucker**. Routledge, 1984.
- ELKINGTON, John. Governance for sustainability. **Corporate Governance: An International Review**, v. 14, n. 6, p. 522-529, 2006.
- FAULKNER, William; BADURDEEN, Fazleena. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 8-18, 2014.
- FERRER, Jorge Antonio Giles *et al.* Manufatura enxuta sustentável – metodologia de aplicação do mapeamento de fluxo de valor sustentável (SUS-VSM). **Revista Brasileira de Mecatrônica**, v. 4, n. 3, p. 01-18, 2022.
- FUKUDA, Stephany de Oliveira *et al.* **A Importância da inovação e do modelo orientado para as exportações no projeto de desenvolvimento japonês: uma análise a partir do caso Toyota**. 2018.
- HELLENO, André Luís; MORAES, Aroldo José Isaias; SIMON, Alexandre Tadeu. Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 405-416, 2017.
- LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Bookman Editora, 2021.
- LOPES-ROBLES, J. R.; GUALLAR, R.; GAMBOA-ROSALES, N. K.; OTEGI-OLASO, J. R.; COBO, M. J. Mapa de la estructura intelectual de El profesional de la infomarión de 2014 a 2018. **Revista Académica sobre Documentación y Comunicación Interactiva**, n. 19, 2019.

OLIVEIRA, M. R.; CANO, A.; OLIVEIRA, R. S.; CASTRO, C. E. G.; CANTORANI, J. R. H. Cadeia de suprimentos e tecnologias da indústria 4.0 na economia circular: uma análise integrada da produção científica. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 30, 2023, Bauru/SP. **Anais do XXX SIMPEP 2023**.

REICHHART, Andreas; HOLWEG, Matthias. Lean distribution: concepts, contributions, conflicts. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 16, p. 3699-3722, 2007.

SANTOS, P. H. A.; LIZARELLI, F. L. Práticas da Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável: Revisão Terciária da Literatura. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 43, 2023, Fortaleza. **Anais do XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, 2024b, p. 0-14.

SAVITZ, Andrew W.; WEBER, Karl. **The Tiple Bottom Line: How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social and Environmental Success - and How You Can Too**. San Francisco, California: Jossey-bass: A Wiley Brand, 2014. 352 p.

SLAPER, T. F.; HALL T.J. **The triple bottom line: What is it and how does it work**. IBR Indiana Business Review, 2011.

TADDEO, Raffaella *et al.* A bibliometric and network analysis of Lean and Clean(er) production research (1990/2017). **Science of the Total Environment**, v. 653, p. 765-775, 2019.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **Soluções Lean: como empresas e clientes podem criar valor e riqueza juntos**. Simon e Schuster, 2015.

YANG, MG; HONG, P., MODI, S. B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. **International Journal of Production Economics**, v. 129, p. 251-61, 2011.

YOSHINO, R. T. **Proposta para integração de ferramentas na produção em médias empresas**. 2008. 315 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos.

ZUPIC, I.; CATER, R. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015.