

A manufatura enxuta no contexto da defesa nacional aplicada em indústrias de defesa e forças armadas: uma revisão integrativa

Lean Manufacturing in the context of National Defense applied in defense industries and the Armed Forces: an integrative review

Resumo: Este trabalho tem por objetivo apresentar as contribuições da manufatura enxuta no contexto da defesa nacional, a partir de uma revisão integrativa da literatura voltada para aplicações em indústrias de defesa e Forças Armadas, e identificar oportunidades de integrá-la ao Exército Brasileiro. A revisão integrativa da literatura destacou 27 artigos, em que organizações militares e indústrias de defesa do mundo todo têm se beneficiado da aplicação dos princípios e ferramentas da manufatura enxuta, na medida em que elimina ou reduz desperdícios de processos, principalmente relacionados com a espera entre atividades e processamentos desnecessários, alcançando melhores resultados na entrega dos seus bens e serviços. Destaca-se o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) como a principal ferramenta da manufatura enxuta para o aperfeiçoamento de processo e aplicação eficiente dos recursos. As oportunidades de integrá-la ao Exército Brasileiro são primariamente identificadas nos processos de manutenção, modernização e revitalização de Sistemas e Materiais de Emprego Militar (SMEM), podendo ser aplicada em outros ambientes como, gestão hospitalar, de obras militares, organizacional, de projetos, do ciclo de vida de SMEM e logística de suprimentos.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta. Exército Brasileiro. Revisão Integrativa. Sistemas e Materiais de Emprego Militar.

Abstract: This paper aims to present the contributions of lean manufacturing in the context of National Defense, from an integrative literature review focused on applications in defense industries and Armed Forces, and identify opportunities to integrate the lean manufacturing to the Brazilian Army. The integrative literature review highlighted 27 articles, where military organizations and defense industries around the world have benefited from the application of lean principles and tools, as it eliminates or reduces process waste, mainly related to waiting between activities and unnecessary processing, achieving better results in the delivery of their goods and services. Value Stream Mapping (VSM) stands out as the main lean tool for process improvement and efficient application of resources. The opportunities to integrate lean manufacturing into the Brazilian Army are primarily identified in the processes of maintenance, repair and overhaul of Military Employment Systems and Materials (SMEM), and can be applied in other environments such as health management, military works management, organizational management, project management, life cycle management and supply logistics management.

Keywords: Lean Manufacturing. Brazilian Army. Integrative Review. Military Employment Materials and Systems.

Hanameel Carlos Vieira Gomes 

Exército Brasileiro. Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
hanameelcarlos@gmail.com

Giuseppe Miceli Junior 

Exército Brasileiro. Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
giuseppe.pged@ime.eb.br

Antonio Eduardo Carrilho da Cunha 

Exército Brasileiro. Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
carrilho@ime.eb.br

Recebido: 24 out. 2023

Aprovado: 24 jun. 2024

COLEÇÃO MEIRA MATTOS

ISSN on-line 2316-4891 / ISSN print 2316-4833

<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/index>



Creative Commons
Attribution Licence

1 INTRODUÇÃO

O Exército Brasileiro, em seu processo de transformação, tem buscado aperfeiçoar o Sistema Logístico Militar Terrestre (SLMT) por meio da modernização das linhas de manutenção existentes nos Parques de Manutenção e Arsenais de Guerra, os quais executam serviços de manutenção nos Sistemas e Materiais de Emprego Militar (SMEM). Em consonância, o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (SCT&I) do Exército Brasileiro tem buscado aprimorar a gestão do sistema de fabricação, no qual encontram-se inseridas atividades relativas à modernização e/ou revitalização de SMEM desenvolvidos nas estruturas fabris do Exército Brasileiro.

Entre os aspectos observados para a gestão dos processos de manutenção, modernização e/ou revitalização de SMEM, a utilização de sistemas de gestão de produção atuais aponta para o melhor aproveitamento dos recursos empregados, sejam eles financeiros, humanos, estrutura física, entre outros. A manufatura enxuta, também conhecida como *lean manufacturing*, surge então como um modelo de gestão de produção padrão para o século XXI (Rinehart; Huxley; Robertson, 1997 *apud* Shah; Ward, 2007).

Um dos principais objetivos da manufatura enxuta é implementar uma filosofia que permita às organizações aumentar a sua eficiência e aperfeiçoar os seus processos por meio de uma melhoria contínua, reduzindo e eliminando desperdícios (Womack; Jones, 2004). Destarte, a manufatura enxuta está relacionada com o desempenho superior e a capacidade de fornecer vantagem competitiva às organizações (Shah; Ward, 2003 *apud* Shah; Ward, 2007).

Como objeto de estudo deste trabalho, será investigada a contribuição da manufatura enxuta no contexto da defesa nacional, com enfoque em estudos e aplicações nas Forças Armadas e nas indústrias de defesa, e a partir dessas contribuições apontar as oportunidades de integrar a filosofia *lean manufacturing* no Exército Brasileiro. Diante desse objetivo, pode-se elencar as seguintes questões de pesquisa:

- Como o *lean manufacturing* tem contribuído para um melhor desempenho das indústrias de defesa e das Forças Armadas?
- Quais as ferramentas *lean manufacturing* já foram aplicadas nas indústrias de defesa e nas Forças Armadas?
- Quais as oportunidades de integrar a filosofia *lean manufacturing* ao Exército Brasileiro?

1.1 Contexto de Transformação do Exército Brasileiro

Diante das profundas mudanças que têm ocorrido em todos os setores de uma nação, desde o surgimento de novos modelos de negócios até a reformulação dos sistemas de produção, o Exército Brasileiro vem, nos últimos anos, passando por um processo de transformação para adquirir as capacidades compatíveis com a rápida evolução da humanidade.

Esse processo de transformação do Exército Brasileiro encontra-se alinhado com as políticas e diretrizes no âmbito da defesa nacional, as quais são estabelecidas na Política Nacional de Defesa (PND) e na Estratégia Nacional de Defesa (END). Com relação a concepção da estrutura

de defesa do País, estão compreendidos nessa complexa estrutura: estudos referentes às ameaças da soberania e interesses nacionais, desenvolvimento das potencialidades de todos os segmentos do País, modernização dos equipamentos e qualificação do capital humano das Forças Armadas, além de discussões sobre conceitos, doutrinas, diretrizes e procedimentos de preparo e emprego da expressão militar do Poder Nacional (Brasil, 2020b).

O *Livro Branco de Defesa Nacional* (LBDN), escrito a partir da PND e END, define a transformação da defesa como consequência da necessidade do aprimoramento das Forças Armadas em dotá-las de capacidades apropriadas ao cumprimento de sua destinação constitucional. No Brasil, a transformação da defesa ocorre por meio de três vertentes: o Plano de Articulação e de Equipamento de Defesa (PAED), a modernização da gestão do sistema de defesa nacional e a reorganização da Base Industrial de Defesa (BID) (Brasil, 2020a).

Nesse contexto, o PAED, por exemplo, consolida os Projetos Estratégicos das Forças Armadas que visam atender às demandas de articulação e de equipamento necessárias para o cumprimento de sua destinação constitucional, conforme preconizado na END. Um dos projetos prioritários denomina-se Obtenção da Capacidade Operacional Plena (OCOP). Entende-se por OCOP a obtenção de elevada disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, abrangendo a recuperação dos meios existentes, sua revitalização e modernização e, até mesmo, sua substituição por obsolescência (Brasil, 2020a).

Uma vez que os programas e projetos estratégicos agem como indutores do processo de transformação em curso no Exército Brasileiro (Brasil, 2020b), a direção dos esforços de investimento é feita por meio do Plano Estratégico do Exército (PEEx) (Brasil, 2019), com base nas capacidades de interesse do EB. Por fim, relacionando os objetivos propostos no Plano Estratégico do Exército (PEEx) ao tema central deste trabalho, destacamos os seguintes Objetivos Estratégicos do Exército (OEE):

- OEE8 – Aperfeiçoar o Sistema Logístico Militar Terrestre: estabelece a modernização das linhas de produção e manutenção dos Parques e Arsenais de Guerra;
- OEE9 – Aperfeiçoar o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (SCT&I), estabelece o aperfeiçoamento da gestão do sistema de fabricação, por meio do mapeamento dos processos relativos à modernização de SMEM desenvolvidos nas estruturas fabris do Exército Brasileiro.

É mister ressaltar que o processo de transformação do Exército Brasileiro, sob o vetor da Ciência e Tecnologia, deverá ser capaz de realizar a mudança necessária de paradigmas em todos os seus sistemas e funções para alcançar o Exército do futuro (Prado Filho, 2014). A importância da capacidade científico-tecnológica na Expressão do Poder Militar Nacional, manifestada nas atividades de pesquisa e desenvolvimento, produção e modernização de SMEM, desenvolvidas por organizações militares e empresas da Base Industrial de Defesa (BID), configuram-se como elemento central do desenvolvimento e sustentação do Poder Militar (Galdino; Schons, 2022).

Diante da conjuntura apresentada, as organizações públicas e privadas, civis e militares, têm buscado adquirir as capacidades compatíveis com a rápida evolução da humanidade. Na esteira do desenvolvimento e das profundas mudanças que têm ocorrido em todos os setores de uma

nação, na busca por um sistema de gestão de produção capaz de se adaptar aos novos cenários e demandas, a manufatura enxuta (*lean manufacturing*) é vista como uma solução interessante para que as organizações trabalhem eliminando ou evitando os desperdícios, buscando alta produtividade com qualidade, agilidade e flexibilidade.

1.2 A Manufatura Enxuta

A história da manufatura enxuta remonta à década de 1950, após a Segunda Guerra Mundial, quando os japoneses Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, engenheiros da *Toyota Motor Company*, companhia produtora de automóveis fundada em 1937, pensaram ser possível melhorar o sistema de produção. Naquela época, em 1949, a Toyota viveu grandes problemas, passando por um colapso nas vendas, bem como pela demissão em massa de seus funcionários. Vale destacar, que até 1950, a Toyota havia produzido 2.685 automóveis, enquanto que a fábrica Rouge da Ford, em Detroit nos Estados Unidos (EUA), produzia 7 mil unidades de automóveis por dia (Womack; Jones; Roos, 1990).

Diante desse cenário, após uma visita de Eiji Toyoda à fábrica Rouge da Ford, os engenheiros aperfeiçoaram o modelo Ford de produção e deram início, de forma experimental, ao que na Toyota passou a se chamar de Sistema Toyota de Produção (STP) e, finalmente, a produção enxuta (Womack; Jones; Roos, 1990).

O surgimento do STP visou criar um sistema de produção mais flexível e mais rápido em relação às mudanças do mercado. Essas características seriam um importante diferencial estratégico, uma vez que a pronta resposta às constantes variações do mercado estava alinhada com a obtenção de resultados efetivos nas principais dimensões da competitividade, que são elas: inovação, flexibilidade, qualidade, custo e atendimento (Shingo, 1996).

O termo “Produção Enxuta”, do inglês *lean production* ou *lean manufacturing*, foi criado no final dos anos 1980 pelos pesquisadores do *International Motor Vehicle Program* (IMVP), um programa de pesquisas vinculado ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), para compreender os desafios enfrentados pela indústria automotiva global, que à época enfrentava uma quebra de paradigma do sistema de produção, isto é, de um sistema de produção em massa para um sistema de produção flexível, eficiente e inovador (Womack; Jones; Roos, 1990).

O termo *lean* foi utilizado pela primeira vez por Krafcik (1988), pesquisador associado ao programa de pesquisas IMVP do MIT. Contudo, a popularização do termo *lean manufacturing* ocorreu com Womack e colaboradores (1990), que descreveram as práticas de manufatura do STP, desenvolvido com a finalidade de se adaptar aos recursos escassos da economia japonesa após a Segunda Guerra Mundial.

De acordo com Ohno (1997), a base do STP é a eliminação de desperdício, por meio da integração de princípios e ferramentas que levam à busca pela excelência. A manufatura enxuta baseia-se em cinco princípios, que auxiliam no melhor entendimento dos seus fundamentos e perspectivas do pensamento enxuto, a saber: *especificar o valor*, determinando precisamente o valor agregado por produto específico; *identificar o fluxo de valor*, por meio do mapeamento da cadeia de valor para cada produto; *garantir o fluxo*, fazendo o valor fluir sem interrupções; *trabalhar com produção puxada* (*pull production*), fazendo com que o cliente puxe valor do produto; *buscar*

a *perfeição*, visando sempre a melhoria contínua. Com base nesses princípios, as indústrias tornam-se flexíveis e capazes de responder de maneira efetiva às necessidades do mercado (Womack; Jones, 2004).

Shingo (1996) afirma que a principal característica do STP é a redução de desperdícios, pois esses eram até então considerados parte do trabalho. Eliminá-los significa analisar todas as atividades e processos de um sistema produtivo, e eliminar aquelas atividades que não agregam valor ao produto final (Womack; Jones, 2004). Ohno (1997) identifica os desperdícios da produção, baseados nas teorias e princípios de Henry Ford.

Segundo Ohno (1997) e Shingo (1996), os desperdícios da manufatura enxuta podem ser classificados em sete categorias: *superprodução*, produzir além do que é necessário; *espera*, tempo ocioso de pessoas e equipamentos; *transporte*, movimentos de material desnecessários; *processamento*, trabalho desnecessário e processo de material inadequado; *estoque*, quantidade de material disponível além do que é necessário; *movimentação*, movimento de pessoal desnecessário; e *defeitos*, produto com qualidade inferior ao desejado pelo cliente e que necessita de retrabalho.

Destarte, a manufatura enxuta busca a excelência produtiva integrando princípios e ferramentas, tudo isso por meio de uma melhoria contínua, além de reduzir e eliminar desperdícios, permitindo às organizações reduzir o custo, aumentar a margem de lucro, e aperfeiçoar seus processos.

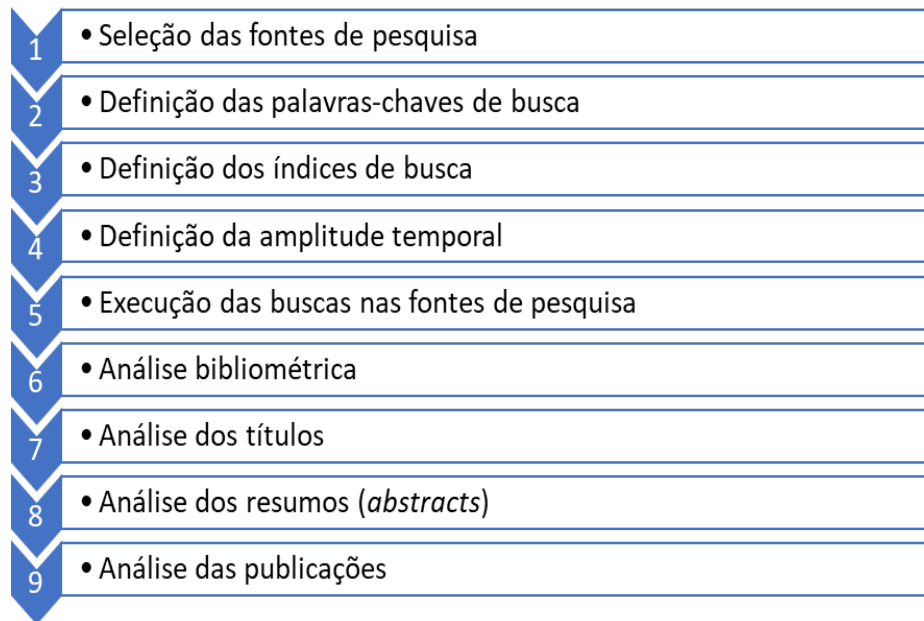
Este trabalho está estruturado da seguinte forma: a introdução apresenta o contexto de transformação do Exército Brasileiro e a evolução histórica da manufatura enxuta. A seção de metodologia apresenta o delineamento da pesquisa como uma revisão integrativa da literatura, identificando as literaturas que abordam as contribuições do *lean manufacturing* para indústrias de defesa e Forças Armadas. Na seção resultados e discussões, são analisados os trabalhos encontrados na revisão da literatura, identificando os ganhos de desempenho obtidos a partir da aplicação da filosofia *lean* e suas ferramentas. Por fim, a conclusão oferece *insights* sobre o tema voltado para aplicações nas Forças Armadas, bem como oportunidades de integrar a manufatura enxuta ao Exército Brasileiro.

2 METODOLOGIA

A revisão da literatura serve para mapear o campo de estudo da pesquisa e o seu desenvolvimento, além de permitir a identificação de lacunas existentes (Chen, 2017). Assim, neste trabalho, realizou-se a revisão da literatura com o objetivo de identificar e mapear trabalhos nacionais e internacionais que relacionam a manufatura enxuta com a defesa nacional, com enfoque em indústrias de defesa e Forças Armadas. Snyder (2019) apresenta que as principais revisões são: revisão sistemática, semi-sistemática e integrativa.

Neste estudo foi adotado a revisão integrativa com o intuito de avaliar e sintetizar a literatura sobre o tema da pesquisa de forma a enxergar novas contribuições para preencher lacunas existentes. A revisão integrativa deve resultar em um avanço do conhecimento, em vez de descrever e apresentar uma visão geral sobre a área de pesquisa (Snyder, 2019). O passo a passo utilizado para desenvolvê-la foi adaptado a partir de um método sistemático para elaboração de pesquisas em bases de periódicos (Lacerda, 2009). A Figura 1 apresenta o passo a passo utilizado.

Figura 1. Passos para a revisão da literatura



Fonte: elaborado pelos autores.

As fontes de informação selecionadas foram trabalhos nacionais e internacionais, considerando os artigos publicados em periódicos (*article e review*) e artigos em conferências ou congressos (*conference paper e proceedings paper*), localizados nas seguintes bases de dados: SCOPUS e Web Of Science (WOB). Essas bases de dados contêm informações importantes para a análise bibliométrica, incluindo resumos (*abstracts*), referências, índices de citação, autores, instituições, afiliações, países, fator de impacto e outras informações (Carvalho; Fleury; Lopes, 2013). As palavras-chave foram definidas a partir do ambiente de aplicação da manufatura enxuta: indústrias de defesa e Forças Armadas (Exército, Marinha e Força Aérea). A Tabela 1 apresenta as *strings* de busca utilizadas nas respectivas bases de dados.

Tabela 1. String de busca para a revisão da literatura

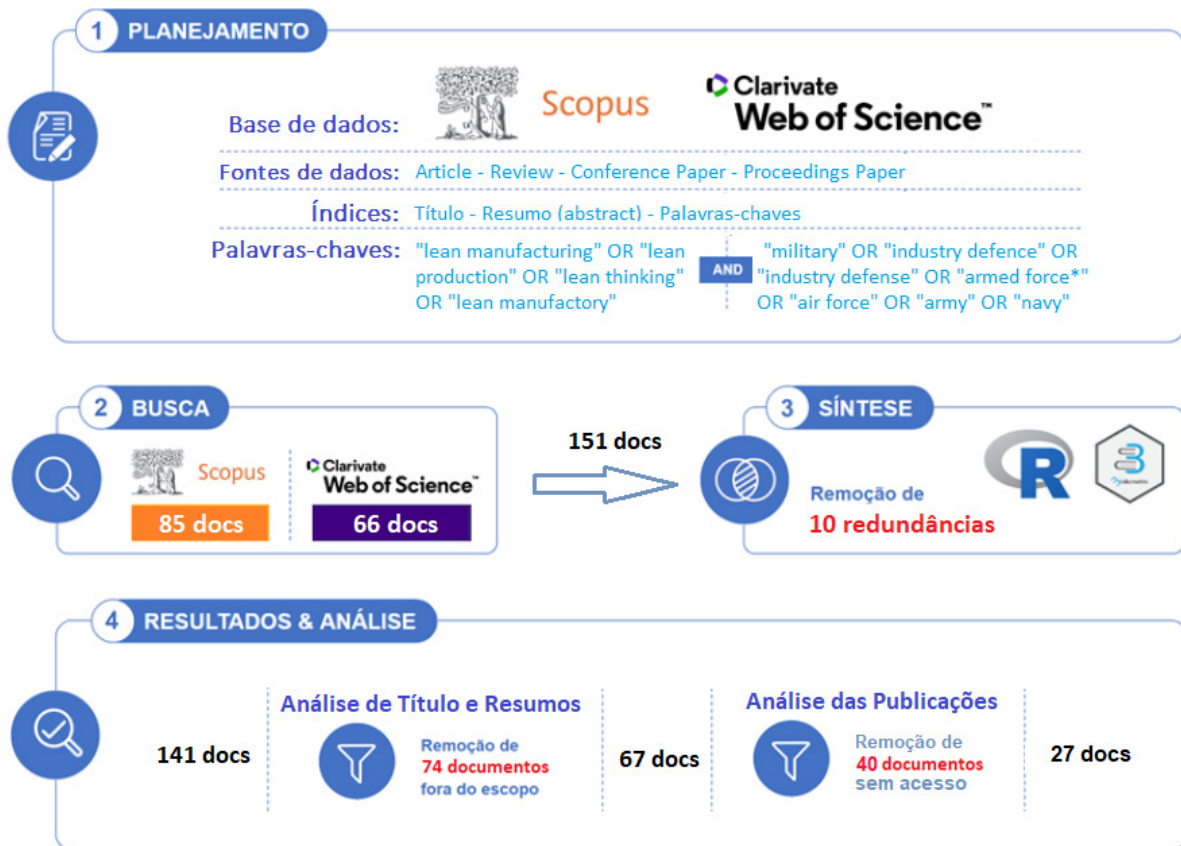
Base de Dados	String de Busca
SCOPUS	TITLE-ABS-KEY(("lean manufacturing" OR "lean production" OR "lean thinking" OR "lean manufactory") AND ("military" OR "industry defence" OR "industry defense" OR "armed force*" OR "air force" OR "army" OR "navy"))
Web of Science	TS=(((lean manufacturing) OR (lean production) OR (lean thinking) OR (lean manufactory)) AND ((military) OR (industry defence) OR (industry defense) OR (armed force*) OR (air force) OR (army) OR (navy)))

Fonte: elaborado pelos autores.

Definiu-se como índices de busca o título, o resumo e as palavras-chave, pois são os primeiros componentes de um artigo com os quais os leitores entram em contato, atuando no processo de decisão do leitor em ler ou não um texto (Garcia; Gattaz; Gattaz, 2019). Quanto à amplitude temporal definida para a pesquisa, não foi estabelecida uma limitação temporal, com a finalidade de obter o maior número de publicações.

A Figura 2 apresenta o procedimento da pesquisa delineado a partir da sequência de passos propostos para a revisão. A partir da coleta e importação dos dados das bases SCOPUS e Web of Science, no formato *BibTeX*, utilizando o software *RStudio*, aplicou-se um filtro de verificação de documentos redundantes para evitar duplicidades de textos. Na análise dos títulos e resumos das publicações, foram excluídos 74 trabalhos considerados como fora do escopo da pesquisa. Por fim, na fase de análise das publicações, foi feita a leitura integral do conteúdo de 27 trabalhos.

Figura 2. Procedimento da pesquisa sobre *lean manufacturing and defense (armed forces and industries defence)*



Fonte: elaborado pelos autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como objeto de estudo deste trabalho, foram investigadas as contribuições da manufatura enxuta em indústrias de defesa e Forças Armadas, e a partir dessas contribuições, foram apontadas as

oportunidades de integrá-la (*lean manufacturing*) ao Exército Brasileiro, respondendo assim a perguntas de pesquisa elencadas na introdução deste trabalho, a saber:

- Como o *lean manufacturing* tem contribuído para um melhor desempenho das indústrias de defesa e das Forças Armadas?;
- Quais as ferramentas *lean manufacturing* já foram aplicadas nas indústrias de defesa e nas Forças Armadas?;
- Quais as oportunidades de integrar a filosofia *lean manufacturing* ao Exército Brasileiro?

Inicialmente, a análise dos 27 documentos encontrados permite relacionar a produção científica no mundo sobre o tema *lean manufacturing and defense*. A Tabela 2 apresenta a distribuição da produção científica de cada país.

Tabela 2. Produção científica no mundo sobre *lean manufacturing and defense*
(*armed forces and industries defence*)

País	Qtd
Eua	13
Itália	3
Reino Unido	2
Espanha	2
Bélgica	1
Brasil	1
Cingapura	1
China	1
Índia	1
Malásia	1
Noruega	1

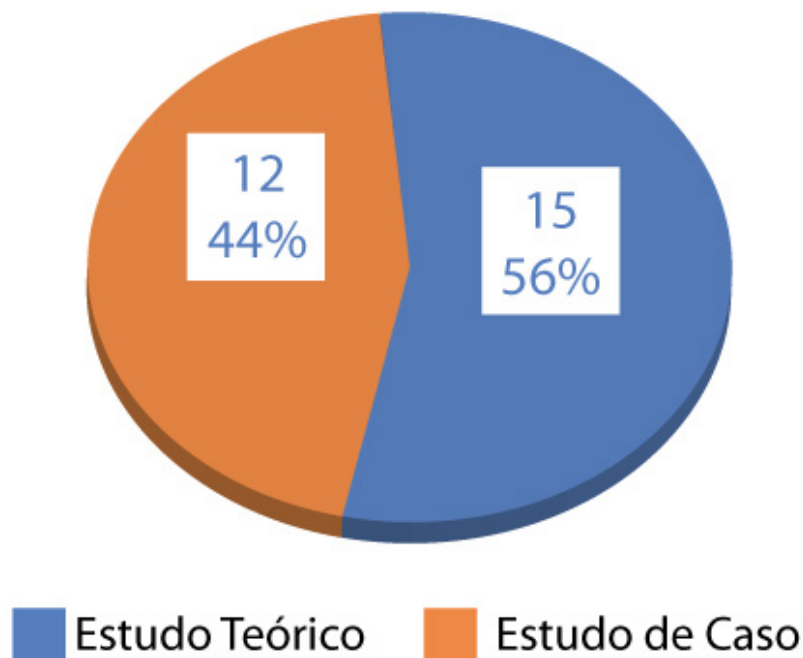
Fonte: elaborado pelos autores.

Diante da distribuição apresentada na Tabela 2, observa-se uma maior quantidade de publicações norte-americanas, que pode estar relacionada com alguns fatos. Primeiramente, cabe destacar que os estudos para compreender os desafios enfrentados pela indústria automotiva global nos anos 1980 se difundiram para a indústria de defesa aeronáutica e aeroespacial, exercendo influência direta na aplicação da manufatura enxuta das Forças Armadas norte-americanas (Womack; Jones; Roos, 1990; Mathaisel; Comm, 2000).

Faz-se mister ressaltar o suporte fornecido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, desde 1988, na implementação de uma estratégia de melhoria contínua do desempenho em todos os níveis e áreas de atuação (DoD, 1988). O reflexo disso correlaciona-se com o tamanho e o poder das forças armadas estadunidenses, sendo considerada a maior do mundo (Global Firepower, 2023).

Dando continuidade na análise dos trabalhos da revisão da literatura, a síntese do conhecimento foi possível a partir da leitura dos artigos selecionados, classificando-os em algumas categorias. Os trabalhos classificados como estudos teóricos apresentavam apenas as relações de benefícios da manufatura enxuta no ambiente estudado, contextualizando a filosofia *lean manufacturing* no ambiente de estudo sem mensurar a melhoria de desempenho. Já os trabalhos classificados como estudos de caso apresentavam aplicações efetivas dos princípios e ferramentas *lean manufacturing*, evidenciando e mensurando os ganhos obtidos. A Figura 3 apresenta a distribuição dos 27 trabalhos quanto ao tipo de pesquisa.

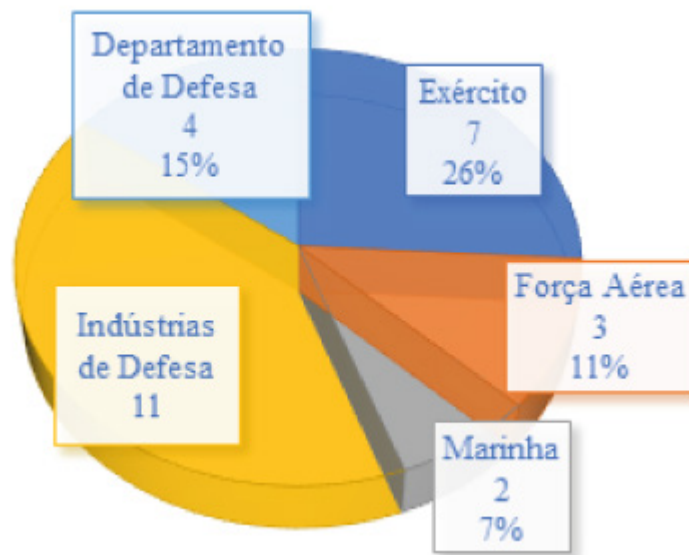
Figura 3. Distribuição dos trabalhos da revisão da literatura por tipo de pesquisa



Fonte: elaborado pelos autores.

Uma segunda classificação dos trabalhos foi gerada a partir da análise das áreas de aplicação do tema da pesquisa. A Figura 4 mostra a divisão dos trabalhos de acordo com cada área aplicada, e na Tabela 3 os trabalhos de cada área de aplicação estão relacionados com o tipo de pesquisa utilizada. Outra classificação obtida a partir dos 12 artigos classificados como estudos de caso é a frequência de aplicação das ferramentas *lean manufacturing*. A Figura 5 apresenta a frequência identificada para cada ferramenta aplicada nos artigos classificados como estudos de caso.

Figura 4. Distribuição dos trabalhos da revisão da literatura por área de aplicação/estudo

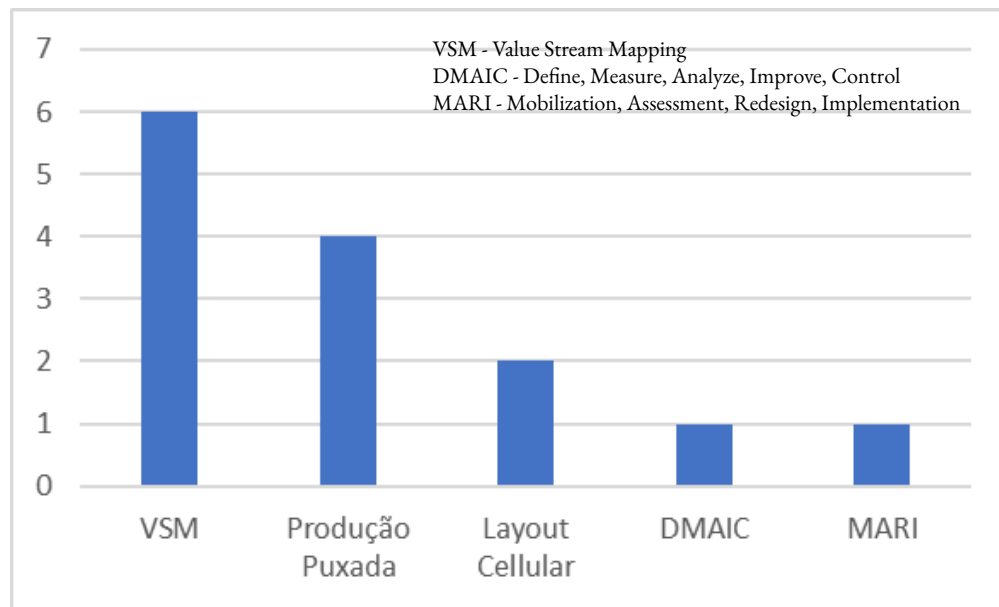


Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3. Distribuição dos trabalhos da revisão da literatura por área de aplicação/estudo e tipo de pesquisa

Área de aplicação/estudo	Estudo De Caso	Estudo Teórico
Indústrias de Defesa	4	7
Força Aérea	2	1
Exército	4	3
Marinha	1	1
Departamento de Defesa	1	3

Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 5. Frequência de aplicação das ferramentas *lean manufacturing* nos trabalhos da revisão da literatura

Fonte: elaborado pelos autores.

Entre os 27 artigos lidos, cabe expor as contribuições dos autores, destacando os trabalhos classificados como estudos de caso, que de alguma forma mensuram os benefícios advindos da implementação de princípios e ferramentas da manufatura enxuta. Tomando como base os resultados apresentados na Tabela 3, inicialmente serão abordados os trabalhos aplicados nas indústrias de defesa.

O estudo de caso em uma indústria de defesa¹, apresentado por Pattanaik e Sharma (2009), identificou os benefícios da manufatura enxuta por intermédio da implementação de um sistema de manufatura celular, também conhecido como *layout celular*, no qual as máquinas da célula produtiva foram agrupadas de acordo com as características de cada peça produzida. O novo *layout* de produção celular, combinando algumas operações produtivas e realocando as máquinas dentro das células de produção, possibilitou um aumento percentual de 44% para 54% das atividades que agregavam valor, diminuindo o percentual das atividades que não agregavam valor, como o tempo de espera e o tempo de preparação (Pattanaik; Sharma, 2009).

Os benefícios da implementação da manufatura enxuta apresentados por Pickrell, Lyons e Shaver (2005) são resultados de estudos de caso relativos a uma indústria de defesa estadunidense fabricante de controles e sistemas elétricos, eletro-hidráulicos e hidráulicos para aplicações em dispositivos aeroespaciais e de defesa. O primeiro estudo de caso apresentado teve como resultado melhorias substanciais em reduções de custo, ciclo de tempo, devoluções de clientes ao estoque, e um aumento na capacidade de produção; enquanto que no segundo estudo de caso,

¹ A empresa em estudo, ALCAST, situada na Índia, é uma fornecedora de peças e componentes para mísseis e demais materiais bélicos do governo indiano.

um sistema automatizado de controle de documentos foi implementado, reduzindo rejeições de clientes e atrasos na fabricação devido aos erros de documentação de revisão durante a produção (Pickrell; Lyons; Shaver, 2005).

A indústria aeronáutica e aeroespacial muito se beneficiou com a filosofia *lean manufacturing*. A exemplo do grupo de pesquisa associado ao MIT, que no final dos anos 1980 buscava compreender os desafios enfrentados pela indústria automotiva global (Womack; Jones; Roos, 1990), foi criado em 1993 um programa com representantes do governo estadunidense, indústria e academia (MIT) para criar e implementar mudanças na indústria de defesa aeronáutica e aeroespacial, com base em um conhecimento sistemático da filosofia *lean manufacturing*, no intuito de atingir grande avanços em eficiência e qualidade nas próximas décadas (Mathaisel; Comm, 2000).

O trabalho de Fleishman (2002) mostra as vantagens obtidas a partir da incorporação dos princípios da manufatura enxuta na montagem do sistema de combustível da aeronave de transporte militar C-17, fabricado pela *Boeing Company*. Por meio da utilização dos princípios e ferramentas da manufatura enxuta, a equipe de projeto encontrou os ajustes necessários para a adaptação do sistema de combustível da aeronave, melhorando a eficiência da montagem e mantendo a performance da aeronave. Ainda no contexto da indústria aeronáutica, Kinard (2018) destaca que o programa da aeronave F-35, fabricado pela *Lockheed Martin*, encontrou na manufatura enxuta uma estratégia-chave como parte do sistema produtivo, adotando *just-in-time* (JIT), trabalho padronizado e produção puxada (*pull production*).

A aplicação dos princípios e ferramentas da manufatura enxuta tanto nas indústrias de defesa quanto nas Forças Armadas é observada no trabalho de Mathaisel (2005). O modelo desenvolvido pelo autor, chamado de LEA (*Lean Enterprise Architecture*), foi concebido para ser aplicado em uma indústria de defesa aeroespacial, porém sua aplicação se expandiu para organizações militares, sendo aplicado na Força Aérea dos EUA. Os resultados alcançados a partir da implementação do modelo LEA nas organizações são: melhoria da qualidade dos bens e serviços em até 85%; aumento da produtividade em até 30% ao ano; aumento da satisfação do cliente motivado pela entrega dos bens e serviços no prazo; redução dos custos da operação por meio da eliminação de desperdício e agilidade no fluxo de trabalho (Mathaisel, 2005).

Outras aplicações identificadas no contexto da Força Aérea estadunidense encontravam-se na área de logística e gestão de pessoal. O trabalho de Berry e Akhbari (2000), desenvolvido no contexto da Força Aérea norte-americana (*United States Air Force – USAF*), apresenta a integração do *lean manufacturing* na logística de suprimento da aeronave de transporte militar C-17, diminuindo os custos envolvidos no projeto, de maneira a tornar o programa C-17 mais competitivo, garantindo que um projeto que teve sua primeira entrega em 1991 se mantenha pelo século XXI.

Ainda que em ambientes civis e militares a implementação da manufatura enxuta se concentre em processos relacionados à fabricação, à manutenção ou à aquisição de equipamentos e materiais militares, a proposta apresentada por Valencia e Rusnock (2018) aplicaram a filosofia *lean manufacturing* para entender e melhorar a produtividade dos aviadores de resposta a emergências da Força Aérea dos EUA, utilizando a ferramenta de Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV).

Passando para as aplicações encontradas nos exércitos, desde a logística de suprimentos até a aplicação na gestão de saúde, os princípios e ferramentas da manufatura enxuta possibilitaram

a melhoria de desempenho nos ambientes em que foram aplicadas, resultando no aperfeiçoamento de processos, alcançando assim, maior eficiência. O estudo de caso de implementação da manufatura enxuta na melhoria da logística militar apresentado por Acero e colaboradores (2019) demonstra que a abordagem estratégica da logística militar deve ser focada na melhoria dos processos logísticos, para alcançar os requisitos da Forças Armadas de eficiência de entrega de suprimento no teatro de operações.

A manufatura enxuta foi implementada no gerenciamento da cadeia de suprimentos das organizações militares com o objetivo de melhorar os tempos de resposta e garantir a flexibilidade necessária, evitando desperdícios; e os resultados mostraram um aumento de 44% para 70% das atividades que agregam valor no processo logístico, e uma diminuição no *lead time* do processo logístico de 69,6%. (ACERO *et al.*, 2020). Nesse sentido, Carier (2007) propõe alternativas para melhorar a logística de suprimento no campo de batalha, aplicando ferramentas da manufatura enxuta e ferramentas de tomadas de decisão, baseadas em *value-focused thinking* (VFT), para aperfeiçoar o processo de distribuição material e de equipamentos aos soldados no teatro de operações.

Importante destacar que os princípios e ferramentas da manufatura enxuta também são possíveis de serem aplicados em gestão de processos organizacionais. Outra aplicação encontrada foi identificada na melhoria do processo de formação de pilotos do exército estadunidense. Enos (2011) propõe um conceito de organização *lean* para o *U.S. Army Aviation Center of Excellence* (USAACE), com base nos princípios e ferramentas da manufatura enxuta, com o objetivo de aperfeiçoar o processo de formação dos pilotos do exército norte-americano.

Observando a Tabela 2, a publicação relacionada ao Brasil apresenta um estudo de caso da aplicação do *lean office*², uma adaptação da manufatura enxuta para um contexto de processos e gestão administrativa, em uma organização de saúde do Exército Brasileiro, localizada na guarnição de Campinas (SP) (Silva *et al.*, 2015). A pesquisa foi desenvolvida buscando responder a seguinte pergunta: É possível reduzir o *lead time* em processos administrativos aplicando o *lean office*? Como resultado, o atendimento ambulatorial foi aperfeiçoado por meio da eliminação de atividades que não agregavam valor, o que resultou no aumento de 1,7% para 8,2% das atividades que agregavam valor no processo (Silva *et al.*, 2015).

Na marinha estadunidense, o trabalho de Mayer, Irani e Adra (2008) avaliou a viabilidade de aplicar um sistema de manufatura celular, também conhecido como *layout celular*, em uma organização de manutenção³ da marinha estadunidense. A nova proposta considerava o agrupamento de processos semelhantes para cada tipo de material, ou família de produtos (embarcação). A partir da estrutura atual, foi possível simular o novo modelo de *layout*, resultando em um melhor tempo de resposta, ou seja, menor tempo de reparo para as embarcações, aumentando assim a disponibilidade dos meios (Mayer; Irani; Adra, 2008).

No Reino Unido, o ministério da defesa encontrou nos princípios e ferramentas da manufatura enxuta uma oportunidade de reduzir a demanda por manutenção de uma de suas

2 O conceito de *lean office* surgiu a partir da implementação dos princípios e ferramentas *lean manufacturing* em ambientes administrativos (processos administrativos) (Silva *et al.*, 2015).

3 A organização de manutenção de navios, conhecida como SERMC (*Southeast Regional Maintenance Center*), é estruturada por trabalhos específicos (soldagem, usinagem, montagem, etc.) e não por famílias de produtos.

frotas de helicópteros, como o Chinook Mk2/2A, fabricado pela *Boeing Company* (Cook, 2007). Um modelo matemático de análise prognóstica baseado nas informações em tempo real da situação mecânica das aeronaves, bem como uma cadeia de suprimento enxuta, foram as possíveis soluções identificadas para reduzir as filas de manutenção de aeronaves paradas por falta de peças sobressalentes.

Da análise de conteúdo dos 27 trabalhos foi observado que, entre aqueles classificados como estudo de caso (12 artigos), seis artigos utilizaram a ferramenta de Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) como a principal ferramenta *lean* para analisar o estado atual e propor as modificações necessárias visando o aperfeiçoamento do processo no estado futuro desejado. Esses resultados reforçam que o MFV é uma ferramenta essencial, pois possibilita não apenas visualizar o fluxo, mas também identificar os desperdícios (Rother; Shook, 2003).

Diante do exposto, a revisão da literatura mostrou as várias aplicações da manufatura enxuta no contexto das indústrias de defesa e Forças Armadas, apresentando as vantagens que podem advir da adoção da filosofia *lean manufacturing*. A utilização da manufatura enxuta no Exército Brasileiro é uma oportunidade a ser explorada, com a aplicação dos seus princípios e suas ferramentas na modernização das linhas de manutenção dos parques e arsenais de guerra, para contribuir com o aperfeiçoamento do sistema de fabricação do Exército Brasileiro.

Quando observamos as atividades de manutenção desempenhadas pelas Organizações Militares de Manutenção (OM Mnt), as quais podem ser divididas de acordo com o tipo de material, enxerga-se, por exemplo, nos materiais da classe V (armamento), uma oportunidade de integrar a filosofia *lean manufacturing* ao processo de manutenção de 3º escalão dos armamentos leves. Com relação aos materiais da classe IX (motomecanização), em que estão incluídas viaturas blindadas e não blindadas, sobre rodas ou sobre lagartas, os princípios e ferramentas da manufatura enxuta podem ser aplicados nos processos de manutenção, modernização e/ou revitalização desses SMEM.

Ainda que a filosofia *lean manufacturing* tenha surgido no chão de fábrica das indústrias automobilísticas japonesas, a sua expansão tem se dado em diversas áreas do conhecimento, tais quais: saúde (*lean health*), construção civil (*lean construction*) e administração (*lean office* e *lean enterprises*). Ou seja, além dos ambientes de produção, outros ambientes também podem se beneficiar dos princípios e ferramentas *lean*, por exemplo gestão hospitalar, de obras militares, organizacional, de projetos, do ciclo de vida de SMEM e logística de suprimentos. A exemplo do que foi encontrado na revisão da literatura, o aperfeiçoamento do Sistema Logístico Militar Terrestre (SLMT) pode se valer dos princípios e ferramentas da manufatura enxuta para desenvolver uma gestão eficiente da cadeia logística de suprimento.

Cabe ressaltar que a implementação de um novo modelo de gestão de processos pode encontrar algumas barreiras e desafios a serem superados. O sucesso da integração da manufatura enxuta em qualquer processo não se resume apenas à aplicação das ferramentas. Segundo Pereira, Anholon e Batocchio (2017), é um resultado conjunto obtido a partir da dedicação de toda equipe de trabalho, abrangendo do nível estratégico até o nível operacional, para colocar em prática a essência da filosofia enxuta, juntamente com seus princípios e ferramentas. Os desafios de implementar, por exemplo, um novo modelo nos processos de manutenção, modernização e/ou revitalização de SMEM serão superados por meio da implementação precisa dos princípios e ferramentas da manufatura enxuta.

4 CONCLUSÕES

Considerando a relevância desta pesquisa para investigar a manufatura enxuta no contexto da defesa nacional e em aplicações nas indústrias de defesa e Forças Armadas, este estudo, inicialmente, apresentou a importância do tema no processo de transformação do Exército Brasileiro, sob a perspectiva da modernização do Sistema Logístico Militar Terrestre (SLMT) e do aperfeiçoamento do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação (SCT&I).

A revisão integrativa da literatura destacou os trabalhos já realizados em indústrias de defesa e Forças Armadas, possibilitando responder a perguntas de pesquisa. A princípio, foi observado que o *lean manufacturing* tem contribuído para um melhor desempenho dessas organizações, conforme elimina ou reduz desperdícios de processos, sobretudo relacionados com a espera entre atividades e processamentos desnecessários.

Com relação a ferramentas *lean* utilizadas, foi observado uma diversidade de aplicação, como produção puxada, *layout* de produção celular, JIT, com destaque para o MFV como a principal ferramenta da manufatura enxuta para analisar o estado atual e propor as modificações necessárias visando o aperfeiçoamento do processo no estado futuro desejado.

Por fim, as oportunidades de integrar a manufatura enxuta ao Exército Brasileiro são primariamente identificadas nos processos de manutenção, modernização e/ou revitalização de SMEM. A implementação da manufatura enxuta em processos de manutenção, como a manutenção de armamento leve, evidenciará melhores práticas e dificuldades de adaptação ao novo modelo de gestão da manutenção.

Além dos ambientes de produção, outros ambientes também podem se beneficiar dos princípios e ferramentas *lean*, tal como foi observado na revisão da literatura. O desenvolvimento de trabalhos em áreas como gestão hospitalar, de obras militares, organizacional, de projetos, do ciclo de vida de SMEM e logística de suprimentos estará alinhado com o processo de transformação do Exército Brasileiro, modernizando as ferramentas de gestão já existentes e contribuindo para a aplicação eficiente dos recursos disponíveis.

5 COLABORAÇÃO DOS AUTORES

Hanameel Carlos Vieira Gomes – conceitualização, metodologia e redação (rascunho original, revisão e edição);

Giuseppe Miceli Junior – metodologia e redação (revisão e edição);

Antonio Eduardo Carrilho da Cunha – conceitualização e redação (revisão e edição).

REFERÊNCIAS

ACERO, R.; TORRALBA, M.; PEREZ-MOYA, R.; POZO, J. Order processing improvement in Military Logistics by Value Stream Analysis Lean Methodology. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 41, p. 74-81, 2019.

ACERO, R.; TORRALBA, M.; PEREZ-MOYA, R.; POZO, J. Value Stream Analysis in Military Logistics: The Improvement in Order Processing Procedure. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 1, p. 106, 2020.

BERRY, P.; AKHBARI, H. C17 Supply Chain Lean Initiatives. SAE Aerospace Manufacturing Technology Conference and Exposition, Forth Worth – TX, **SAE Technical Paper Series**, [s. l.], 2000.

BRASIL. ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO. **EB10-P-01.007 - Plano Estratégico do Exército (2020-2023)**. Brasília, DF: Estado-Maior do Exército, 2019. Disponível em: http://www.sgex.eb.mil.br/sg8/006_outras_publicacoes/04_planos/port_n_1968_cmdo_eb_03dez2019.html. Acesso em: 12 set. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DA DEFESA. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020a. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/livro_branco_congresso_nacional.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA DEFESA. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2020b. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/pnd_end_congresso_.pdf. Acesso em: 12 set. 2023.

CARIER, J. D. The Army Rapid Fielding Initiative. **IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium**. Charlottesville: [s. n.], 2007.

CARVALHO, M. M.; FLEURY, A.; LOPES, P. A. An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. **Technological Forecasting and Social Change**, Amsterdam, v. 80, n. 7, p. 1418-1437, 2013.

CHEN, C. Science Mapping: A systematic review of the literature. **Journal of Data and Information Science**, Beijing, v. 2, n. 1, p. 1-40, 2017.

COOK, J. Reducing military helicopter maintenance through prognostics. **IEEE Aerospace Conference**. Big Sky: [s. n.], 2007.

DoD - DEPARTMENT OF DEFENSE. **DoD Total Quality Management Master Plan**. Accession Number ADA355612. Washington, D.C.: DoD, 1988.

ENOS, J. A new glide path applying lean principles to the flight school XXI enterprise. **32th Annual American Society for Engineering Management Conference**. Texas Tech University Lubbock: [s. n.], 2011.

FLEISHMAN, S. **Incorporation of lean principles through the use of flexible fuel tubing in a large military transport aircraft**. **World Aviation Congress & Display**. SAE Technical Paper Series. Phoenix: [s. n.], 2002.

GALDINO, J. F.; SCHONS, D. L. Maquiavel e a importância do poder militar nacional. **Coleção Meira Mattos**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 56, p. 353-368, 2022.

GARCIA, F. C. D.; GATTAZ, C. C.; GATTAZ, C. N. A Relevância do Título, do Resumo e de Palavras-chave para a Escrita de Artigos Científicos, **Journal of Contemporary Administration**, Maringá, v. 23, n. 3, 2019.

GLOBAL FIREPOWER. 2023 Military Strength Ranking. **Global Firepower**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.globalfirepower.com/countries-listing.php>. Acesso em: 11 jul. 2023.

KINARD, D. A. F-35 Digital Thread and Advanced Manufacturing. **Aviation Technology, Integration, and Operations Conference**. Atlanta: [s. n.], 2018.

KRAFCEK, J. F. Triumph of the lean production system. **Sloan Management Review**, [s. l.], v. 30, p. 41-52, 1988.

LACERDA, D. P. **A Gestão Estratégica em Universidades Privadas Concessionárias**: Compreendendo se e como as Intenções transformam-se em Ações Estratégicas. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2009.

MATHAISEL, D. F. X. A lean architecture for transforming the aerospace maintenance, repair and overhaul (MRO) enterprise. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Bradford, v. 54, n. 8, p. 623-644, 2005.

MATHAISEL, D. F. X.; COMM, C. L. Developing, implementing and transferring lean quality initiatives from the aerospace industry to all industries. **Managing Service Quality**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 248-256, 2000.

MAYER, B.; IRANI, S.; ADRA, H. Virtual Shop Clusters: A New Layout Concept for a Ship Repair and Maintenance Facility. **Naval Engineers Journal**, [s. l.], v. 120, n. 2, p. 99-111, 2008.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman. 1997.

PATTANAİK, L. N.; SHARMA, B. P. Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Londres, v. 42, p. 772-779, 2009.

PEREIRA, C. M.; ANHOLON, R.; BATOCCHIO, A. Obstacles and difficulties implementing the lean philosophy in Brazilian enterprises. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, Rio de Janeiro, v. 14, p. 218-227, 2017.

PICKRELL, G.; LYONS, J.; SHAVER, J. Lean Six Sigma implementation case studies. **International Journal Six Sigma and Competitive Advantage**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 369-379, 2005.

PRADO FILHO, H. V. **A transformação do Exército Brasileiro e o novo sistema de ciência, tecnologia e inovação do exército**: contribuições para a soberania nacional. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Altos Estudos de Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2014.

RINEHART, J.; HUXLEY, C.; ROBERTSON, D. **Just Another Car Factory?** Nova York: Cornell University Press, 1997.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SHAH, R.; WARD, P. T. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance, **Journal of Operations Management**, Londres, v. 21, n. 2, p. 124-149, 2003.

SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management**, Londres, v. 25, n. 4, p. 785-805, 2007.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de produção**: do ponto de vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: Bookman. 1996.

SILVA, I. B.; SERAPHIM, E. C.; AGOSTINHO, O. L.; LIMA JUNIOR, O. F.; BATALHA, G. F. Lean office in health organization in the Brazilian Army. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 2-16, 2015.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 104, p. 333-339, 2019.

VALENCIA, V. V.; RUSNOCK, C. F. Value Stream Mapping in the Military: Leadership for Successful Implementation. **IISE Annual Conference and Expo**, [s. l.], 2018.

WOMACK, J. P.; JONES, D. J.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World**: How Japan's Secret Weapon in the Global Auto War Will Revolutionize Western Industry: The Story of Lean Production. New York: Harper Perennial, 1990.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

