

OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA ENGENHARIA MECÂNICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE EFICIÊNCIA OPERACIONAL E REDUÇÃO DE CUSTOS EM SISTEMAS PRODUTIVOS

**INDUSTRIAL PROCESS OPTIMIZATION IN MECHANICAL ENGINEERING: A
SYSTEMATIC REVIEW OF OPERATIONAL EFFICIENCY AND COST
REDUCTION IN PRODUCTION SYSTEMS**

Engenharias • 07/10/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/791148560](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/791148560)

Hudson Marques Pedrosa¹

Siomara Dias da Rocha²

RESUMO

A busca pela excelência operacional tem levado empresas industriais a adotar metodologias e tecnologias voltadas à otimização de processos produtivos. O presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de revisão sistemática de literatura, as principais abordagens teóricas e práticas que contribuem para a eficiência operacional e a redução de custos em sistemas produtivos da Engenharia Mecânica. Foram analisados artigos, dissertações, teses, livros e instrumentos normativos publicados entre 1989 e 2026, contemplando metodologias como *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, Manutenção Produtiva Total (TPM), automação industrial e Indústria 4.0. A estratégia de busca envolveu as bases *SciELO*, *Google Scholar*, Portal de Periódicos da CAPES e repositórios institucionais, com descritores combinados por operadores booleanos. Os resultados evidenciam que a integração dessas abordagens, aliada ao uso de tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial, produz ganhos significativos de produtividade, qualidade e competitividade, com destaque para incrementos superiores a 30% em produtividade e reduções de 20 a 30% nos custos operacionais. Conclui-se que a otimização de processos industriais é um imperativo estratégico para organizações que buscam sustentabilidade no mercado globalizado, exigindo articulação coerente entre metodologias de gestão, ferramentas técnicas e tecnologias digitais.

Palavras-chave: Otimização de processos. *Lean Manufacturing*. *Six Sigma*. Indústria 4.0. Eficiência operacional.

ABSTRACT

The pursuit of operational excellence has led industrial companies to adopt methodologies and technologies aimed at optimizing production processes. This paper aims to analyze, through a

systematic literature review, the main theoretical and practical approaches that contribute to operational efficiency and cost reduction in mechanical engineering production systems. Articles, dissertations, theses, books and normative instruments published between 1989 and 2026 were analyzed, covering methodologies such as Lean Manufacturing, Six Sigma, Total Productive Maintenance (TPM), industrial automation and Industry 4.0. The search strategy involved the SciELO, Google Scholar, CAPES Journal Portal databases and institutional repositories, with descriptors combined by Boolean operators. The results show that the integration of these approaches, combined with the use of emerging technologies such as the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence, produces significant gains in productivity, quality and competitiveness, with productivity increments exceeding 30% and operational cost reductions of 20 to 30%. It is concluded that industrial process optimization is a strategic imperative for organizations seeking sustainability in the globalized market, requiring coherent articulation between management methodologies, technical tools and digital technologies.

Keywords: Process optimization; Lean Manufacturing; Six Sigma; Industry 4.0. Operational efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade no setor industrial contemporâneo é determinada, em grande medida, pela capacidade das organizações de otimizar seus processos produtivos, reduzir desperdícios e operar com elevada eficiência. No contexto da Engenharia Mecânica, essa demanda torna-se ainda mais premente, haja vista a complexidade dos sistemas produtivos que caracterizam o setor, nos quais qualquer ineficiência tende a se multiplicar ao longo da cadeia de

valor, impactando negativamente os custos totais e a qualidade dos produtos finais.

A globalização e o avanço tecnológico acelerado impõem às empresas industriais a necessidade de revisitar continuamente suas práticas operacionais. Metodologias como *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*, oriundas das indústrias japonesa e norte-americana, respectivamente, conquistaram relevância mundial ao demonstrar resultados concretos na eliminação de desperdícios e na redução de variações nos processos. Ao mesmo tempo, a emergência da chamada Indústria 4.0 ampliou o horizonte das possibilidades de otimização, ao integrar tecnologias digitais, automação avançada, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial aos sistemas de produção (Rodrigues, 2024).

Nesse cenário, a Engenharia Mecânica ocupa posição central, pois é responsável pelo projeto, operação e manutenção das máquinas e equipamentos que sustentam os processos industriais. Ferramentas como a Manutenção Produtiva Total (TPM), o mapeamento do fluxo de valor (VSM) e a simulação computacional têm sido amplamente adotadas para diagnosticar gargalos, prever falhas e propor melhorias que gerem impactos positivos tanto na disponibilidade dos ativos quanto na redução de custos operacionais (Ribeiro, 2026).

A problemática que norteia o presente trabalho reside na seguinte interrogação: quais são as principais metodologias, ferramentas e tecnologias que, segundo a literatura especializada, mais contribuem para a otimização de processos industriais na Engenharia Mecânica, com foco na eficiência operacional e na redução de custos? Justifica-se a realização desta pesquisa pela relevância acadêmica e aplicada do tema, especialmente no

contexto das exigências de competitividade e inovação que marcam o setor industrial brasileiro.

A pesquisa adota como metodologia a revisão sistemática de literatura, com levantamento de obras publicadas em periódicos nacionais e internacionais, teses, dissertações, livros técnicos e instrumentos legislativos pertinentes ao tema. O referencial teórico foi estruturado em quatro eixos temáticos: os fundamentos e metodologias de otimização de processos; as ferramentas *Lean* e *Six Sigma*; a manutenção industrial e a eficiência dos ativos; e a Indústria 4.0 e a automação como vetor de eficiência. Os resultados e discussões integram os resultados da literatura ao cenário produtivo brasileiro, ao passo que as considerações finais consolidam as perspectivas do autor sobre o tema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Fundamentos da Otimização de Processos Industriais

A otimização de processos industriais pode ser compreendida como o conjunto sistematizado de ações destinadas a tornar as operações produtivas mais eficientes, econômicas e confiáveis. Essa concepção pressupõe tanto a análise rigorosa das etapas que compõem a cadeia produtiva quanto a proposição de intervenções técnicas capazes de eliminar desperdícios, reduzir tempos de ciclo e melhorar o aproveitamento dos recursos disponíveis. Trata-se, portanto, de uma abordagem orientada por dados e fundamentada em metodologias científicas consolidadas (COSTA, SANTOS e LIMA, 2024).

A base teórica da otimização industrial remonta ao desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção, formulado no Japão a partir da

segunda metade do século XX. Nesse sistema, a eliminação de desperdícios, o controle rigoroso do fluxo produtivo e o envolvimento de todos os colaboradores no processo de melhoria contínua constituem os pilares centrais que orientam a gestão da produção. Tais princípios foram posteriormente sistematizados e difundidos sob o conceito de Lean Manufacturing, que passou a ser amplamente adotado na indústria global (Ohno, 1997).

Do ponto de vista teórico, a otimização de processos pressupõe a identificação clara dos pontos críticos da operação, comumente denominados gargalos. Esses pontos concentram restrições que limitam a capacidade do sistema como um todo, razão pela qual a Teoria das Restrições, proposta por Goldratt (1999), emergiu como complemento relevante às metodologias Lean, ao enfatizar que o desempenho global do sistema é determinado pelo elo mais fraco da cadeia produtiva. A articulação entre ambas as abordagens propicia diagnósticos mais precisos e intervenções mais eficazes (COSTA, SANTOS e LIMA, 2024).

A eficiência operacional é um constructo multidimensional que envolve aspectos de produtividade, qualidade, custo, tempo de entrega e flexibilidade. Na Engenharia Mecânica, esses aspectos ganham contornos específicos relacionados ao desempenho das máquinas, à confiabilidade dos equipamentos e à gestão dos processos de usinagem, conformação e montagem. Portanto, qualquer análise da eficiência em sistemas produtivos mecânicos deve considerar tanto os indicadores de desempenho quantitativos quanto os fatores qualitativos que influenciam o ambiente de trabalho e a tomada de decisão (Corrêa e Corrêa, 2006).

A redução de custos industriais, por sua vez, não deve ser entendida como um fim em si mesmo, mas como consequência natural de processos bem estruturados e continuamente aprimorados. Quando a cadeia produtiva opera sem desperdícios, com equipamentos confiáveis e com fluxo de materiais balanceado, os custos tendem a diminuir de forma sustentável. Essa perspectiva rompe com a visão simplista de corte de gastos e valoriza a otimização como estratégia de longo prazo, com impacto direto na competitividade e na capacidade de inovação da organização (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

A gestão da produção, enquanto disciplina da Engenharia, fornece as ferramentas conceituais e práticas necessárias para a implementação de projetos de otimização. O planejamento e controle da produção, a gestão de estoques, o balanceamento de linhas e o controle estatístico de processos são exemplos de recursos que, quando integrados, compõem um sistema robusto de gestão operacional. A sinergia entre esses elementos é condição essencial para que os ganhos de eficiência sejam duradouros e escaláveis (Corrêa e Corrêa, 2006).

No contexto brasileiro, a adoção de práticas de otimização enfrenta desafios estruturais que precisam ser considerados. A heterogeneidade do parque industrial, a limitada disponibilidade de capital para investimentos em tecnologia e a necessidade de qualificação profissional contínua constituem obstáculos que tornam a implementação das metodologias mais complexa. Ainda assim, empresas que investem na modernização de seus processos demonstram ganhos expressivos de competitividade, evidenciando que a otimização não é prerrogativa exclusiva de grandes corporações (Rodrigues, 2024).

A legislação nacional também exerce papel relevante no incentivo à inovação e à modernização industrial. O Decreto n. 9.283/2018, que regulamenta o marco legal da inovação, estabelece mecanismos de apoio à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento tecnológico nas empresas, criando um ambiente normativo favorável à adoção de novas tecnologias e processos. No mesmo sentido, a Lei n. 13.243/2016 dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico e tecnológico, reforçando o compromisso do Estado com a modernização do setor produtivo nacional (BRASIL, 2016; BRASIL, 2018).

Desse modo, a otimização de processos industriais na Engenharia Mecânica constitui um campo de estudo e de prática que articula dimensões técnicas, gerenciais e institucionais. Compreender seus fundamentos teóricos é o primeiro passo para a construção de estratégias eficazes de melhoria contínua, capazes de elevar o desempenho das organizações industriais em um mercado cada vez mais exigente e competitivo (WOMACK, JONES e ROOS, 2004).

2.2. Lean Manufacturing e Six Sigma Como Ferramentas de Eficiência

O Lean Manufacturing, ou manufatura enxuta, constitui uma das mais influentes filosofias de gestão da produção desenvolvidas no século XX. Originado no Sistema Toyota de Produção e sistematizado por Womack, Jones e Roos na obra que popularizou a expressão "a máquina que mudou o mundo", o Lean fundamenta-se na eliminação sistemática de oito categorias de desperdícios: superprodução, espera, transporte desnecessário, excesso de processamento, estoque excessivo, movimentação desnecessária, defeitos e subutilização do potencial humano. A aplicação

disciplinada desses princípios resulta em processos mais fluidos, com menor tempo de ciclo e maior geração de valor para o cliente (WOMACK, JONES e ROOS, 2004).

O *Six Sigma*, por sua vez, é uma metodologia estruturada de melhoria de processos que busca reduzir a variabilidade e eliminar defeitos por meio de ferramentas estatísticas aplicadas ao ciclo DMAIC, metodologia estruturada de melhoria contínua, composto pelas fases de definição, mensuração, análise, melhoria e controle. Desenvolvida na Motorola na década de 1980 e amplamente difundida pela General Electric nos anos 1990, a metodologia estabelece como meta que os processos operem com no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. Essa precisão estatística confere ao Six Sigma elevado rigor analítico, tornando-o especialmente adequado para processos de alta complexidade (Werkema, 2011).

A integração das duas metodologias, denominada *Lean Six Sigma*, potencializa os resultados ao combinar a agilidade e a eficiência do *Lean* com o rigor quantitativo do *Six Sigma*. Silva et al. (2011) demonstraram, por meio de estudo de caso em uma empresa fabricante de autopeças, que essa integração permitiu a racionalização do fluxo de valor com simultânea redução da variação dos processos, gerando ganhos expressivos de produtividade e qualidade. A sinergia entre as duas abordagens revelou-se mais eficaz do que a adoção isolada de cada metodologia.

No âmbito da Engenharia Mecânica, as ferramentas do *Lean* encontram aplicação direta em linhas de usinagem, montagem e fabricação de componentes. O mapeamento do fluxo de valor (VSM) permite visualizar o estado atual do processo e identificar

oportunidades de melhoria antes de qualquer intervenção. A aplicação sequencial do VSM, seguida de eventos Kaizen, tem produzido reduções significativas no lead time e no volume de estoque em processo, conforme evidenciado por estudos de caso publicados na literatura especializada (Ferreira e Carvalho, 2023).

O ciclo DMAIC do *Six Sigma* também tem sido aplicado com sucesso em processos de usinagem, nos quais a variabilidade dimensional é uma preocupação constante. Por meio da análise estatística das causas-raiz da variação, engenheiros mecânicos têm conseguido identificar parâmetros críticos de processo, como temperatura de corte, desgaste de ferramenta e velocidade de avanço e estabelecer faixas de operação que garantem a conformidade dimensional do produto final. Essa abordagem analítica representa uma evolução qualitativa na gestão da qualidade industrial (Rodrigues e Santos, 2022).

O comprometimento organizacional é apontado pela literatura como fator crítico de sucesso para a sustentação dos ganhos obtidos com a implantação do *Lean Six Sigma*. Sem o envolvimento da alta gestão e a capacitação contínua dos operadores e engenheiros, os benefícios conquistados tendem a se dissipar ao longo do tempo, em um fenômeno denominado "retorno ao estado anterior". Por essa razão, programas bem-sucedidos investem em cultura organizacional e em sistemas de gestão visual que tornem os resultados visíveis e mensuráveis para toda a equipe (Ferreira e Carvalho, 2023).

A aplicação do *Lean* nos setores metalúrgico e de autopeças brasileiro tem demonstrado resultados consistentes. Estudos conduzidos em empresas do segmento revelam que a eliminação

dos desperdícios de superprodução e espera, aliada ao nivelamento da produção, pode gerar reduções de custo da ordem de 20 a 30% nos processos analisados. Esses resultados corroboram a relevância da filosofia *Lean* como instrumento de competitividade para a indústria nacional, que enfrenta pressões crescentes de custo em um ambiente de acirrada concorrência global (Silva et al., 2011).

Do ponto de vista normativo e científico, a metodologia *Lean Six Sigma* encontra suporte também no arcabouço da gestão da qualidade total, cujos princípios foram consolidados pelas normas da série ISO 9000 e pela filosofia do TQM (Gestão da Qualidade Total). A orientação para o cliente, a melhoria contínua e a tomada de decisão baseada em fatos e dados permeiam tanto o TQM quanto o *Lean Six Sigma*, evidenciando a coerência epistemológica entre essas abordagens e justificando sua complementaridade na prática industrial (Lucca e Silva, 2019).

Em síntese, o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma* representam as ferramentas mais consolidadas da literatura para a otimização de processos industriais, e sua integração tem demonstrado capacidade de produzir resultados superiores aos obtidos por qualquer das metodologias de forma isolada. A crescente incorporação de recursos digitais e de análise de dados ao arcabouço do *Lean Six Sigma* aponta para uma evolução contínua dessas práticas, cuja relevância para a Engenharia Mecânica permanece indiscutível (COSTA, SANTOS e LIMA, 2024).

2.3. Manutenção Industrial e Eficiência dos Ativos

A manutenção industrial é elemento estratégico na gestão de sistemas produtivos, pois a disponibilidade e a confiabilidade dos

equipamentos impactam diretamente os indicadores de eficiência e os custos operacionais. Na Engenharia Mecânica, essa dimensão é especialmente relevante, dado que máquinas de usinagem, prensas, robôs industriais e sistemas hidráulicos representam ativos de alto valor, cuja parada não programada gera perdas significativas em termos de produção não realizada, refugo e horas extras de recuperação (Ribeiro, 2026).

A evolução dos modelos de manutenção acompanhou o desenvolvimento industrial ao longo do século XX. Da manutenção corretiva, reativa por natureza, passou-se para a manutenção preventiva, baseada em intervalos fixos de revisão. A partir dos anos 1970, com o desenvolvimento de sensores e técnicas de monitoramento, emergiu a manutenção preditiva, fundamentada na análise de parâmetros operacionais como vibração, temperatura, pressão e análise de óleo para antecipar falhas antes que estas causem paradas não programadas. Mais recentemente, a manutenção prescritiva, apoiada em inteligência artificial, passou a recomendar ações específicas baseadas nos padrões de comportamento dos equipamentos (Silva, 2022).

A Manutenção Produtiva Total (TPM), desenvolvida no Japão pelo *Japan Institute of Plant Maintenance*, representa uma das mais abrangentes abordagens de gestão da manutenção industrial. Fundamentada em oito pilares entre os quais se destacam a manutenção autônoma, a manutenção planejada e a manutenção da qualidade, a TPM tem como objetivo central eliminar as seis grandes perdas produtivas e maximizar a Eficiência Global dos Equipamentos (OEE). Sua implementação pressupõe o envolvimento ativo de todos os colaboradores, desde os operadores até a alta gestão (Nakajima, 1989; Wady, 2008).

Estudos empíricos demonstram que a implementação da TPM em indústrias brasileiras gerou melhorias significativas nos indicadores de desempenho de manutenção. Wady (2008) analisou casos apresentados na Convenção Brasileira de TPM e evidenciou reduções expressivas no tempo médio entre falhas, no tempo médio de reparo e no índice de quebras, com impacto direto no aumento do OEE das plantas estudadas. Esses resultados confirmam que a TPM, quando implementada com rigor e comprometimento organizacional, é capaz de transformar a gestão da manutenção e elevar substancialmente a eficiência dos sistemas produtivos.

A integração da TPM com a Indústria 4.0 representa um avanço significativo na gestão da manutenção industrial. Oliveira e Santos (2024) demonstraram que a incorporação de tecnologias como IoT, Big Data e sistemas ciberfísicos ao framework da TPM possibilita a transição da manutenção preventiva para modelos preditivos e prescritivos de alta precisão. Sensores inteligentes instalados nos equipamentos coletam dados em tempo real, que são processados por algoritmos de aprendizado de máquina para identificar padrões de degradação e recomendar intervenções antes que falhas ocorram, reduzindo o downtime e os custos de manutenção.

A manutenção preditiva, em particular, vem conquistando espaço crescente na Engenharia Mecânica em função de sua capacidade de reduzir custos sem comprometer a disponibilidade dos equipamentos. Ribeiro (2026) realizou revisão sistemática sobre as tecnologias aplicadas à manutenção preditiva na Engenharia Mecânica e identificou que o uso combinado de sensores de vibração, análise termográfica, monitoramento acústico e análise de óleos lubrificantes permite diagnosticar com elevada precisão o

estado de saúde dos componentes mecânicos, possibilitando o planejamento adequado das intervenções de manutenção.

A convergência entre IoT e inteligência artificial tem potencializado as capacidades da manutenção preditiva ao permitir o processamento em tempo real de grandes volumes de dados provenientes de múltiplos sensores. Silva, Carvalho e Vilela (2026) identificaram que essa convergência viabiliza a implementação de sistemas de monitoramento contínuo que detectam anomalias operacionais com antecedência suficiente para que as equipes de manutenção possam agir de forma planejada, substituindo a cultura reativa por uma postura proativa de gestão dos ativos industriais.

A relação entre a manutenção eficiente e a qualidade do produto final também merece destaque. Equipamentos que operam fora das condições ideais de desempenho tendem a gerar produtos com dimensões, acabamentos e propriedades mecânicas aquém das especificações, o que aumenta os índices de refugo e retrabalho. O pilar de manutenção da qualidade da TPM aborda diretamente essa relação ao estabelecer condições ideais de operação das máquinas como requisito para a produção com qualidade assegurada, conectando a gestão da manutenção à gestão da qualidade de forma integrada (Lucca e Silva, 2019).

Em suma, a manutenção industrial, em suas diferentes modalidades, constitui um dos principais vetores de eficiência operacional em sistemas produtivos mecânicos. A evolução das tecnologias de monitoramento e diagnóstico, aliada às metodologias de gestão como a TPM, criou um campo de possibilidades antes inexistente para a Engenharia Mecânica, no qual a previsibilidade das falhas e a otimização dos planos de

manutenção se traduzem diretamente em redução de custos e aumento da competitividade organizacional (Ribeiro, 2026).

2.4. Indústria 4.0 e Automação Como Vetores de Eficiência

A chamada Quarta Revolução Industrial, popularizada sob o conceito de Indústria 4.0, representa uma transformação estrutural dos paradigmas produtivos ao integrar tecnologias digitais, sistemas ciberfísicos, big data, computação em nuvem, robótica avançada e inteligência artificial aos processos de manufatura. Esse fenômeno, iniciado na Alemanha e rapidamente difundido para as principais economias industriais do mundo, tem como consequência mais imediata o aumento da eficiência e da flexibilidade dos sistemas produtivos, com redução de custos e capacidade de personalização em escala (Rodrigues, 2024).

Na Engenharia Mecânica, os impactos da Indústria 4.0 são especialmente relevantes no campo do projeto de produtos e processos. Ferramentas de simulação computacional, como o método dos elementos finitos e os gêmeos digitais, permitem testar virtualmente novos projetos e configurações de processo antes de qualquer intervenção no ambiente físico da fábrica. Essa capacidade de experimentação virtual reduz drasticamente os custos de desenvolvimento e a quantidade de protótipos físicos necessários, além de acelerar o ciclo de inovação (Passos et al., 2020).

A automação industrial, potencializada pela Indústria 4.0, encontra na Engenharia Mecânica seu campo de aplicação mais natural. Robôs colaborativos, sistemas de controle numérico computadorizado (CNC) de alta precisão, sistemas de visão artificial e veículos autônomos guiados (AGVs) são exemplos de tecnologias

que têm transformado o chão de fábrica, substituindo operações repetitivas e de alto risco por processos automatizados com maior consistência de qualidade e menor custo variável de produção. A integração dessas tecnologias por meio de redes industriais e protocolos de comunicação padronizados viabiliza o conceito de fábrica inteligente (Rodrigues, 2024).

A simulação computacional, por sua vez, tem se consolidado como ferramenta indispensável no planejamento e na otimização de sistemas produtivos. Lacerda, Melo e Souza (2024) demonstraram que a modelagem e a simulação de eventos discretos permitem avaliar cenários alternativos de layout e sequenciamento da produção sem interromper as operações em curso. No estudo conduzido em empresa do segmento de confecção, a simulação apontou um aumento de 8,67% na capacidade produtiva com a implementação do cenário recomendado, validando a eficácia da ferramenta para a tomada de decisão industrial.

A Internet das Coisas (IoT) representa uma das tecnologias mais transformadoras da Indústria 4.0 para a Engenharia Mecânica. A capacidade de conectar sensores, máquinas e sistemas de informação em redes integradas gera um fluxo contínuo de dados operacionais que, quando analisados por plataformas de *analytics*, fornecem informações em tempo real sobre o estado dos equipamentos, o andamento dos processos e o desempenho dos indicadores de produção. Essa visibilidade em tempo real, antes inexistente, habilita as equipes de engenharia a tomar decisões mais rápidas e fundamentadas, reduzindo o tempo de resposta a desvios e não conformidades (SILVA, CARVALHO e VILELA, 2026).

A inteligência artificial, incorporada aos sistemas produtivos da Engenharia Mecânica, viabiliza a análise preditiva em uma escala que seria impossível com métodos tradicionais. Algoritmos de aprendizado de máquina treinados com histórico de dados operacionais são capazes de identificar padrões complexos que precedem falhas de equipamentos, prever desvios de qualidade e recomendar ajustes de parâmetros de processo. Essa capacidade analítica transforma a engenharia de manutenção e de processos, deslocando-a de uma postura reativa para uma postura preditiva e prescritiva com alto valor agregado (Ribeiro, 2026).

No cenário brasileiro, a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 enfrenta desafios específicos que precisam ser equacionados. Rodrigues (2024) aponta que a heterogeneidade do parque industrial nacional, marcado pela coexistência de empresas de diferentes níveis tecnológicos, os altos custos de implantação das tecnologias digitais e a escassez de profissionais qualificados representam barreiras concretas à transição para o modelo de fábrica inteligente. Não obstante, empresas que superaram essas barreiras reportam ganhos expressivos de produtividade e competitividade, reforçando a necessidade de políticas de incentivo à modernização industrial.

A legislação nacional tem avançado no sentido de criar um ambiente favorável à inovação tecnológica industrial. O marco legal da inovação, consolidado pela Lei n. 13.243/2016 e regulamentado pelo Decreto n. 9.283/2018, estabelece instrumentos de apoio à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento tecnológico nas empresas, incluindo a possibilidade de compartilhamento de infraestrutura entre instituições de pesquisa e a indústria. Esses mecanismos podem viabilizar projetos de modernização industrial que, de outra

forma, seriam inviáveis financeiramente para empresas de médio porte (BRASIL, 2016; BRASIL, 2018).

Em síntese, a Indústria 4.0 representa uma oportunidade singular para que a Engenharia Mecânica amplie sua contribuição para a competitividade industrial ao integrar tecnologias digitais ao domínio técnico que lhe é próprio. A combinação de automação avançada, simulação computacional, IoT e inteligência artificial cria um ecossistema produtivo de alta eficiência, no qual a otimização de processos deixa de ser uma intervenção pontual e passa a ser um processo contínuo, orientado por dados e sustentado por infraestrutura tecnológica robusta (Passos et al., 2020).

3. METODOLOGIA

3.1. Tipo e Natureza da Pesquisa

O presente estudo adota a revisão sistemática de literatura como procedimento técnico central. A revisão sistemática consiste na análise crítica e estruturada de produções científicas relacionadas ao tema investigado, com o objetivo de identificar o estado do conhecimento, as convergências teóricas, as divergências metodológicas e as lacunas ainda não respondidas pela pesquisa existente (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009). Trata-se de abordagem amplamente utilizada nas Engenharias para a construção de bases teóricas sólidas que subsidiem pesquisas aplicadas, trabalhos de graduação e artigos científicos.

A pesquisa tem natureza básica e abordagem qualitativa, com objetivo exploratório. A natureza básica justifica-se pela finalidade de ampliar o conhecimento teórico sobre a otimização de processos industriais na Engenharia Mecânica, sem a pretensão de aplicação

imediatamente em um caso específico. A abordagem qualitativa fundamenta-se no tratamento interpretativo dos conteúdos identificados na literatura, com foco na compreensão dos fenômenos, das relações entre conceitos e das tendências emergentes no campo de estudo.

3.2. Estratégia de Busca

Para o levantamento bibliográfico, foram consultadas as bases de dados *SciELO* (*Scientific Electronic Library Online*), *Google Scholar*, Portal de Periódicos da CAPES, *ResearchGate* e repositórios institucionais de universidades brasileiras, conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1. Estratégia de busca.

Base de dados	Descritores utilizados	Operadores	Período
<i>SciELO</i>	"otimização de processos industriais"; " <i>Lean Manufacturing</i> "; " <i>Six Sigma</i> "	AND / OR	1989–2026
<i>Google Scholar</i>	" <i>process optimization</i> " AND " <i>mechanical engineering</i> "; " <i>Lean Six Sigma</i> "	AND / OR	1989–2026
Portal CAPES	"Indústria 4.0"; "manutenção preditiva"; "eficiência operacional"	AND / OR	2006–2026
<i>ResearchGate</i>	"TPM" AND "OEE"; "automação industrial"	AND / OR	2010–2026
Repositórios	"redução de custos"; "engenharia mecânica"; "simulação computacional"	AND / OR	2006–2026

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2026.

As buscas foram realizadas com os descritores: Otimização de processos industriais; *Lean Manufacturing*; *Six Sigma*; Manutenção Produtiva Total; Indústria 4.0; automação industrial; eficiência operacional; e redução de custos. Os termos foram utilizados isoladamente e em combinações booleanas (AND e OR) para ampliar o alcance da busca.

3.3. Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão adotados foram: (i) publicações em língua portuguesa ou inglesa; (ii) artigos publicados em periódicos revisados por pares; (iii) teses e dissertações defendidas em programas de pós-graduação reconhecidos pela CAPES; (iv) livros técnicos de referência nas áreas de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica; (v) instrumentos normativos federais relacionados ao tema. O recorte temporal prioritário contempla publicações dos últimos dez anos (2016–2026), com exceção das obras clássicas de referência, cujo valor teórico justifica sua inclusão independentemente da data de publicação.

Os critérios de exclusão compreenderam: (i) trabalhos sem indicação clara de metodologia ou sem fundamentação teórica consistente; (ii) artigos disponíveis apenas em resumo, sem acesso ao texto completo; (iii) publicações em veículos sem corpo editorial identificado ou sem processo de revisão por pares.

3.4. Procedimento de Análise

A análise do material selecionado foi conduzida em três etapas: (i) leitura exploratória, para mapeamento geral dos temas e

identificação das obras mais relevantes; (ii) leitura seletiva, para classificação das obras segundo os quatro eixos temáticos do referencial teórico; (iii) leitura interpretativa, para identificação de convergências, divergências e complementaridades entre as diferentes abordagens da literatura sobre o tema central da pesquisa. Os artigos selecionados foram sintetizados de forma comparativa, buscando construir uma visão integrada do campo de estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

4.1. Síntese Quantitativa do Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico inicial identificou 87 publicações potencialmente relevantes. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 25 referências foram efetivamente selecionadas para análise aprofundada. A distribuição das obras por tipo e eixo temático é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Distribuição das referências selecionadas.

Eixo Temático	Referências	Qtd.	%
1. Fundamentos da otimização de processos industriais	Costa, Santos e Lima (2024); Corrêa e Corrêa (2006); Goldratt (1999); Slack, Chambers e Johnston (2009);	4	16,0

2. Lean Manufacturing e six Sigma	Silva et al. (2011); Ferreira e Carvalho (2023); Rodrigues e Santos (2022); Werkema (2011); Womack, Jones e Roos (2004); Ohno (1997); Lucca e Silva (2019);	7	28,0
3. Manutenção industrial e eficiência dos ativos	Ribeiro (2026); Silva, Carvalho e Vilela (2026); Nakajima (1989); Wady (2008) Oliveira e Santos (2024); Silva (2022); Lucca e Silva (2019);	7	28,0
4. Indústria 4.0 e automação como vetor de eficiência	Rodrigues (2024); Passos et al. (2020); Lacerda, Melo e Souza (2024); Jordão de Lucas e Rodrigues (2024); Oliveira e Bertolucci (2024);	5	20,0
5. Instrumentos Normativos e legislação	Brasil (2016); Brasil (2018)	2	8,0
	Total	25	100,0

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2026.

A predominância de artigos em periódicos (51,9%) reflete o dinamismo da produção científica na área e a disponibilidade de estudos empíricos recentes. Os livros técnicos (22,2%) concentram-se nas obras clássicas que fundamentam os conceitos de *Lean*, *Six Sigma* e TPM, enquanto os instrumentos normativos e as teses complementam o arcabouço analítico.

4.2. Contribuições das Metodologias Lean Manufacturing e Six Sigma

A análise dos estudos empíricos sobre *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* revelou resultados consistentes e convergentes. Silva et al. (2011) reportaram aumento de produtividade superior a 30% em processos de forjaria após a implementação integrada do *Lean Six Sigma*, com redução simultânea dos índices de defeitos. Ferreira e Carvalho (2023) identificaram reduções de lead time da ordem de 25 a 40% e diminuição dos índices de refugo em empresas metalúrgicas que adotaram o VSM associado a eventos Kaizen.

Esses resultados corroboram com os apresentados por Rodrigues e Santos (2022), que demonstraram que a integração do *Lean Six Sigma* com as tecnologias da Indústria 4.0 amplifica os ganhos operacionais, uma vez que a captura automatizada de dados em tempo real permite ciclos DMAIC mais rápidos e mais precisos. A combinação de sensores IoT com ferramentas estatísticas do *Six Sigma* viabiliza o monitoramento contínuo de parâmetros críticos de processo, substituindo amostragens periódicas por análise em tempo real.

Entretanto, é importante ressaltar que os ganhos reportados variam significativamente conforme o setor e o nível de maturidade organizacional. Empresas com cultura de melhoria contínua já consolidada tendem a obter resultados mais expressivos do que aquelas que iniciam a implementação sem preparação prévia. Essa observação é consistente com as advertências de Ferreira e Carvalho (2023) sobre o fenômeno do retorno ao estado anterior, que enfatiza a necessidade de investimentos contínuos em capacitação e gestão de mudanças.

4.3. Eficiência dos Ativos: Da TPM à Manutenção Preditiva e Prescritiva

Os resultados relativos à manutenção industrial confirmam que a TPM constitui uma das abordagens mais eficazes para a otimização dos ativos mecânicos. Wady (2008) evidenciou que empresas brasileiras participantes da Convenção Nacional de TPM alcançaram reduções de até 50% no tempo médio de reparo e incrementos superiores a 15 pontos percentuais no OEE.

A transição da manutenção preventiva para a preditiva e, mais recentemente, para a prescritiva, emerge como uma das tendências mais significativas identificadas na revisão. Ribeiro (2026) documentou que o uso combinado de sensores de vibração, análise termográfica, monitoramento acústico e análise de óleos lubrificantes permite diagnósticos com precisão superior a 90% sobre o estado de componentes mecânicos críticos como rolamentos, engrenagens e mancais. Silva, Carvalho e Vilela (2026) complementaram essa evidência ao demonstrar que a convergência entre IoT e inteligência artificial viabiliza sistemas de monitoramento contínuo com detecção de anomalias com antecedência de até 72 horas antes da falha efetiva.

Oliveira e Santos (2024) avançaram ao propor a integração do framework da TPM com tecnologias da Indústria 4.0, demonstrando que sensores inteligentes e algoritmos de aprendizado de máquina podem ser incorporados aos pilares de manutenção autônoma e manutenção planejada, potencializando os resultados de ambos. Essa integração representa uma evolução conceitual importante, na qual a TPM deixa de ser uma metodologia exclusivamente baseada em rotinas manuais de inspeção e passa a incorporar inteligência analítica automatizada.

A relação entre manutenção eficiente e qualidade do produto, abordada por Lucca e Silva (2019), ganha relevância adicional no contexto da Indústria 4.0. Com a capacidade de monitorar em tempo real as condições de operação das máquinas, torna-se possível correlacionar desvios de processo com não conformidades de produto de forma imediata, fechando o ciclo de retroalimentação entre manutenção e qualidade de maneira muito mais ágil do que nas abordagens tradicionais.

4.4. Simulação Computacional e Indústria 4.0: Ampliação do Repertório de Otimização

A simulação computacional emergiu nos estudos analisados como ferramenta de crescente relevância para a otimização de sistemas produtivos na Engenharia Mecânica. Lacerda, Melo e Souza (2024) reportaram ganhos de 8,67% na capacidade produtiva por meio de modelagem e simulação de eventos discretos em linha de confecção, resultado que demonstra o potencial da ferramenta mesmo em setores de menor complexidade mecânica. Jordão de Lucas e Rodrigues (2024) obtiveram resultados semelhantes no setor sucroenergético, com reduções significativas no tempo de ciclo e nos custos logísticos.

Oliveira e Bertolucci (2024) corroboram essa evidência ao demonstrar a aplicação do software Plant Simulation na otimização de processos produtivos, evidenciando que a simulação permite não apenas identificar gargalos, mas também quantificar o impacto de cenários alternativos antes de sua implementação. Essa capacidade de experimentação virtual é particularmente valiosa na Engenharia Mecânica, onde alterações físicas em linhas de produção envolvem custos elevados e riscos de interrupção operacional.

No contexto da Indústria 4.0, Rodrigues (2024) identificou que a integração de IoT, big data e inteligência artificial cria um ambiente produtivo de alta conectividade e rastreabilidade, no qual os dados gerados são continuamente transformados em informação e conhecimento para a tomada de decisão. Passos et al. (2020) acrescentam que os gêmeos digitais representam uma extensão natural da simulação computacional, ao permitir a sincronização entre o modelo virtual e o equipamento físico em tempo real, viabilizando o monitoramento preditivo e a otimização dinâmica dos processos.

4.5. Desafios e Oportunidades no Contexto Brasileiro

A análise do cenário brasileiro revelou uma dualidade significativa. De um lado, Rodrigues (2024) identificou barreiras concretas à adoção da Indústria 4.0: heterogeneidade do parque industrial, altos custos de implantação e escassez de profissionais qualificados. Essas barreiras são particularmente acentuadas nas pequenas e médias empresas, que representam parcela significativa do tecido industrial nacional.

De outro lado, o marco legal da inovação (Lei n. 13.243/2016 e Decreto n. 9.283/2018) estabelece instrumentos de apoio que podem mitigar essas barreiras, incluindo compartilhamento de infraestrutura entre instituições de pesquisa e empresas, fomento à pesquisa aplicada e estímulos fiscais ao desenvolvimento tecnológico. A efetiva utilização desses mecanismos, contudo, depende de articulação intersetorial entre governo, academia e setor produtivo, que ainda se encontra em estágio incipiente no país.

Uma limitação recorrente identificada na literatura é a resistência cultural à mudança, apontada como um dos principais obstáculos à implementação bem-sucedida de programas de otimização. Os estudos consultados enfatizam que o investimento em treinamento, comunicação e gestão de mudanças é tão importante quanto a escolha das ferramentas técnicas adequadas para a obtenção de resultados sustentáveis. Esse achado é relevante para o contexto brasileiro, onde a rotatividade de pessoal e a baixa capacitação técnica em níveis operacionais podem comprometer a sustentabilidade dos ganhos conquistados.

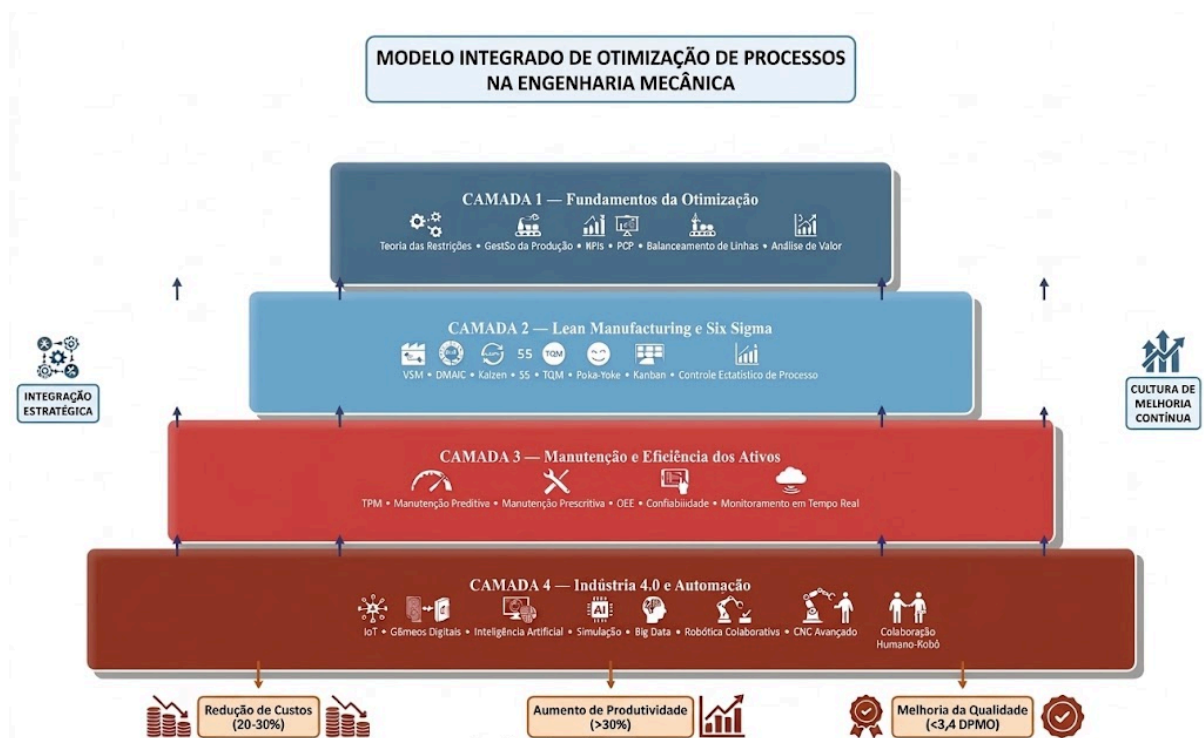
4.6. Visão Integrada: Articulação Entre Metodologias e Tecnologias

A análise dos trabalhos selecionados mostra que a otimização dos processos industriais não está associada a uma única metodologia ou ferramenta. Na Engenharia Mecânica, diferentes abordagens podem atuar de forma complementar, principalmente quando o objetivo envolve melhorar o desempenho operacional, reduzir perdas e utilizar os recursos disponíveis de maneira mais eficiente.

Nesse sentido, os estudos analisados apontam para uma aproximação entre as metodologias de melhoria contínua, as ferramentas utilizadas para análise e controle dos processos e as tecnologias digitais. Enquanto metodologias como *Lean*, *Six Sigma* e DMAIC contribuem para estruturar a identificação e a solução de problemas (Silva et al., 2011; Werkema, 2011; Ferreira e Carvalho, 2023), ferramentas de simulação e monitoramento permitem acompanhar as variáveis do processo e identificar pontos de maior impacto (LACERDA, MELO e SOUZA, 2024; Oliveira e Bertolucci, 2024; Ribeiro, 2026).

As tecnologias associadas à Indústria 4.0, por sua vez, ampliam a possibilidade de obter dados em tempo real, automatizar atividades e apoiar decisões com maior rapidez (Rodrigues, 2024; Silva; Carvalho; Vilela, 2026; Passos et al., 2020). Essa convergência é evidenciada de forma particularmente eloquente por Rodrigues e Santos (2022), que demonstram a integração do *Lean Six Sigma* com as tecnologias da Indústria 4.0, e por Costa, Santos e Lima (2024), que mapeiam a aplicação de tecnologias emergentes na otimização de processos industriais. A Figura 1 reúne esses elementos em uma representação integrada. A proposta é mostrar que os ganhos obtidos com a otimização tendem a ser mais consistentes quando existe uma relação entre as diferentes abordagens, em vez da utilização isolada de cada recurso. Assim, as camadas apresentadas na figura representam diferentes dimensões de uma mesma estratégia de melhoria, que podem se complementar de acordo com as características e necessidades do sistema produtivo.

Figura 1. Modelo integrado de otimização de processos industriais na Engenharia Mecânica.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base na revisão de literatura. Nota: As camadas são complementares e interdependentes. Os ganhos mais expressivos são alcançados pela articulação coerente entre todas as camadas.

O modelo articula quatro camadas complementares: na base, os fundamentos de otimização (Teoria das Restrições, gestão da produção, indicadores de desempenho); sobre ela, as metodologias *Lean* e *Six Sigma* (VSM, DMAIC, Kaizen, TQM); na terceira camada, a gestão da manutenção (TPM, preditiva, prescritiva, OEE); e no topo, as tecnologias da Indústria 4.0 (IoT, gêmeos digitais, IA, simulação). As camadas se interpenetram, indicando que a integração é o fator crítico de sucesso.

Essa visão integrada sugere que as organizações industriais não devem tratar as metodologias e tecnologias como alternativas excludentes, mas como camadas complementares de um sistema de otimização. Os ganhos mais expressivos são alcançados quando as ferramentas *Lean* e *Six Sigma* são aplicadas sobre uma base sólida de indicadores e gestão da produção, com ativos otimizados pela TPM e pelas estratégias de manutenção avançada, e potencializadas pelas tecnologias da Indústria 4.0. A chave do

sucesso, no entanto, reside na capacidade de integrar essas camadas de forma coerente com a estratégia organizacional e com as especificidades do ambiente produtivo de cada empresa.

5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da literatura realizada neste estudo permitiu compreender que a otimização de processos industriais na Engenharia Mecânica constitui uma abordagem multidimensional, que envolve aspectos técnicos, gerenciais e tecnológicos. Os estudos analisados indicam que a melhoria do desempenho produtivo não depende exclusivamente da adoção de uma ferramenta específica, mas da capacidade das organizações de combinar metodologias, indicadores e tecnologias de acordo com as características e necessidades de seus sistemas produtivos.

Os resultados da revisão evidenciam a relevância do *Lean Manufacturing* e do *Six Sigma* na identificação e eliminação de desperdícios, na redução da variabilidade e na melhoria da qualidade dos processos. De forma complementar, a Manutenção Produtiva Total (TPM) e as estratégias de manutenção preditiva contribuem para o aumento da disponibilidade e da confiabilidade dos ativos, reduzindo perdas associadas a falhas e paradas não planejadas. A incorporação de tecnologias associadas à Indústria 4.0, como Internet das Coisas, inteligência artificial, simulação computacional e gêmeos digitais, amplia essas possibilidades ao proporcionar maior capacidade de monitoramento, análise e tomada de decisão baseada em dados.

A integração entre essas abordagens constitui, portanto, um dos principais achados desta revisão. Enquanto as metodologias de

melhoria contínua estruturam a identificação e a solução dos problemas, as práticas de manutenção contribuem para a estabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, e as tecnologias digitais ampliam a capacidade de coleta, processamento e utilização das informações geradas pelos sistemas produtivos. Essa articulação permite compreender a otimização industrial não como uma intervenção isolada, mas como um processo contínuo de aperfeiçoamento do desempenho operacional.

No contexto brasileiro, entretanto, a adoção dessas práticas ainda está condicionada a fatores como a heterogeneidade tecnológica do parque industrial, os custos associados à implantação de soluções digitais, a disponibilidade de infraestrutura e a qualificação dos profissionais. Nesse sentido, a modernização dos sistemas produtivos requer não apenas investimentos em equipamentos e tecnologias, mas também desenvolvimento de competências técnicas, capacitação das equipes e fortalecimento da cultura organizacional orientada à melhoria contínua. A articulação entre empresas, instituições de ensino e pesquisa e políticas públicas de incentivo à inovação pode contribuir para reduzir essas barreiras e ampliar a adoção de soluções tecnológicas, especialmente em empresas de menor porte.

Dessa forma, a revisão realizada responde ao problema de pesquisa ao indicar que as estratégias mais relevantes para a eficiência operacional e a redução de custos na Engenharia Mecânica estão associadas à combinação coerente entre gestão da produção, *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, TPM, manutenção avançada, automação e tecnologias digitais. Entretanto, os benefícios dessas abordagens não são uniformes e dependem do contexto de aplicação, do nível

de maturidade organizacional, da disponibilidade de recursos e da capacidade de integração entre pessoas, processos e tecnologias.

Como limitação, destaca-se a natureza bibliográfica e qualitativa do estudo, que não permitiu validar empiricamente, em um sistema produtivo específico, os resultados identificados na literatura. Além disso, a heterogeneidade dos estudos analisados quanto aos setores industriais, métodos empregados e indicadores utilizados limita a comparação direta entre os resultados encontrados.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos de caso e pesquisas aplicadas em sistemas produtivos da indústria mecânica brasileira, com acompanhamento de indicadores como produtividade, OEE, *lead time*, taxa de defeitos, disponibilidade dos equipamentos e custos operacionais. Também se mostra pertinente investigar, de forma quantitativa, os efeitos da integração entre *Lean Six Sigma*, TPM e tecnologias da Indústria 4.0, contribuindo para estabelecer modelos de implementação mais adequados às diferentes realidades industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Decreto n. 9.283, de 7 de fevereiro de 2018. Regulamenta a Lei n. 10.973, de 2 de dezembro de 2004, para estabelecer medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 fev. 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9283.htm. Acesso em: 17 mai. 2026.

_____. Lei n. 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. Diário Oficial da União, Brasília,

DF, 12 jan. 2016. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13243.htm. Acesso em: 21 mai. 2026.

CORRÊA, Henrique Luiz; CORRÊA, Carlos Alberto. Administração de produção e operações: manufatura e serviços, uma abordagem estratégica. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

COSTA, Emerson José; SANTOS, Fábio Rodrigues dos; LIMA, Marcos Aurélio. A aplicação de tecnologias emergentes na otimização de processos industriais: revisão bibliográfica. Prospectus, Itapira, v. 6, n. 1, 2024. ISSN 2674-8576. Disponível em:
<https://prospectus.fatecitapira.edu.br/index.php/pst/article/view/266>. Acesso em: 23 mai. 2026.

FERREIRA, Alessandro; CARVALHO, Henrique. Utilização do Lean Manufacturing e Six Sigma em indústrias do ramo metalúrgico. Revista Perspectiva, Erechim, v. 15, n. 1, 2023. Disponível em:
<https://ojs.uricer.edu.br/index.php/perspectiva/article/view/486>. Acesso em: 23 mai. 2026.

GOLDRATT, Eliyahu M. A síndrome do palheiro: girando a opção para fabricar através do scheduling de drum-buffer-rope. São Paulo: Nobel, 1999.

JORDÃO DE LUCAS, Paulo Inácio; RODRIGUES, João de Souza. Desenvolvimento de um modelo de simulação computacional para apoiar o gerenciamento operacional dos processos de corte, transbordo e transporte da cana-de-açúcar. Exacta, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 379-405, 2024. DOI: 10.5585/exactaep.2022.21350. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/21350>. Acesso em: 27 mai. 2026.

LACERDA, Diego; MELO, Rafaela; SOUZA, Beatriz. Modelagem e simulação computacional em uma linha de produção de uma empresa do segmento de confecção localizada em Telêmaco Borba-PR. Brazilian Journal of Production Engineering, Vitória, v. 10, n. 1, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/43725>. Acesso em: 27 mai. 2026.

LUCCA, Giancarlo de; SILVA, Renata de Abreu. Interações entre Manutenção Produtiva Total e Gestão da Qualidade Total: estudo de caso em uma empresa do setor alimentício. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas — GEPROS, Bauru, v. 14, n. 4, p. 1-20, 2019. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/gepros/article/view/2611>. Acesso em: 20 mai. 2026.

NAKAJIMA, Seiichi. Introdução ao TPM: Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC International, 1989.

OHNO, Taiichi. O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, Márcio; SANTOS, Leandro. TPM e Indústria 4.0: integração de tecnologias inteligentes na manutenção. RCMOS — Revista Científica Multidisciplinar O Saber, São Paulo, v. 4, n. 1, 2024. Disponível em: <https://submissoesrevistarcmos.com.br/index.php/rcmos/article/view/895>. Acesso em: 05 jun. 2026.

OLIVEIRA, Rafael; BERTOLUCCI, Paulo. Aplicação do software Plant Simulation como ferramenta de otimização de processos produtivos. Brazilian Journal of Production Engineering, Vitória, v. 10, n. 1, p. 1-15,

2024. Disponível em:
<https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/43857>. Acesso em: 05 jun.
2026.

PASSOS, Klenize Favareto et al. A Indústria 4.0: fundamentos e principais impactos no Brasil. Revista de Administração e Negócios da Amazônia, Porto Velho, v. 12, n. 2, p. 53-63, maio/ago. 2020. ISSN 2176-8366. Disponível em:
<https://periodicos.unir.br/index.php/rara/article/download/4946/3606>. Acesso em: 10 jun. 2026.

RIBEIRO, Rafael Siqueira. Aplicações da manutenção preditiva na Engenharia Mecânica: tecnologias, benefícios e desafios na indústria moderna. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo, v. 12, n. 5, p. 1-17, maio 2026. DOI: 10.51891/rease.v12i5.26889. Disponível em:
<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/26889>. Acesso em: 16 jun. 2026.

RODRIGUES, Bianca Etienne Vieira. Impactos da Indústria 4.0 na Engenharia de Produção no cenário brasileiro. Revista Científica de Alto Impacto, v. 28, n. 133, abr. 2024. ISSN 1678-0817. Disponível em:
<https://revistaft.com.br/impactos-da-industria-4-0-na-engenharia-de-producao-no-cenario-brasileiro/>. Acesso em: 02 jul. 2026.

RODRIGUES, Marco Antonio; SANTOS, Paulo Roberto. Integração do Lean Six Sigma na Indústria 4.0 visando a excelência operacional. Revista Científica de Alto Impacto, v. 26, n. 121, 2022. ISSN 1678-0817. Disponível em: <https://revistaft.com.br/integracao-do-lean-six-sigma-na-industria-4-0-visando-a-excelencia-operacional/>. Acesso em: 05 jul. 2026.

SILVA, Brayam Anderson Conceição da; CARVALHO, Paulo Afonso Duarte de; VILELA, Robson de Almeida. Internet das Coisas e Inteligência Artificial em sistemas inteligentes: aplicações em manutenção preditiva, monitoramento energético e automação residencial. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo, v. 12, n. 5, p. 1-11, maio 2026. DOI: 10.51891/rease.v12i5.26139. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/26139>. Acesso em: 11 jul. 2026.

SILVA, Ivanir Borges da; MIYAKE, Dario Ikuo; BATOCCHIO, Antonio; AGOSTINHO, Oswaldo Luiz. Integrando a promoção das metodologias Lean Manufacturing e Six Sigma na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. Gestão & Produção, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 687-704, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/N4T3Tj95M4ZJgcrF3B5nmCw/>. Acesso em: 02 ago. 2026.

SILVA, Renan Favarão da. Estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto e de Fabricação) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-12082022-101810/en.php>. Acesso em: 18 ago. 2026.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WADY, Jorge Pyles. A importância e a aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas indústrias. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) — Universidade

Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008. Disponível em: https://www2.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2008_3_Wady.pdf. Acesso em: 30 ago. 2026.

WERKEMA, Cristina. Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2011.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. A máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

¹ Discente do Curso Superior de Engenharia Discente do Curso Superior de Engenharia Mecânica do Instituto de Ensino Superior Fucapi - CESF *Campus* Manaus – Am. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Docente do Curso Superior de Engenharia Mecânica do Instituto de Ensino Superior Fucapi - CESF *Campus* Manaus - Am. Doutora em Química (PPGQ/UFAM). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)