

# ESTRATÉGIAS DE MANUFATURA ENXUTA PARA APRIMORAMENTO DA MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE DE MÁQUINAS: UM ESTUDO DE REVISÃO

LEAN MANUFACTURING STRATEGIES FOR ENHANCING MACHINE  
MAINTENANCE AND RELIABILITY: A REVIEW STUDY

Engenharias • 09/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/780942428](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/780942428)

Rafael Petrocellys Ataíde de Oliveira<sup>1</sup>

Siomara Dias da Rocha<sup>2</sup>

## RESUMO

A Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), inicialmente voltada para a eliminação de desperdícios e otimização da produção, tem ampliado sua aplicação para a gestão da manutenção e confiabilidade de máquinas, consolidando-se como uma estratégia relevante para o desempenho industrial. Este artigo de revisão da literatura analisa a integração dos princípios lean às práticas de manutenção, destacando ferramentas e metodologias voltadas à redução de falhas, aumento da disponibilidade operacional e melhoria da confiabilidade dos equipamentos. Entre as principais abordagens identificadas destacam-se a Manutenção Produtiva Total (TPM), a padronização de rotinas, o uso de indicadores de desempenho e o envolvimento dos operadores no monitoramento e cuidado diário das máquinas. A literatura evidencia que a aplicação do *Lean Manufacturing* à manutenção favorece a integração de estratégias preventivas, preditivas e corretivas com ferramentas enxutas, contribuindo para a redução de paradas não planejadas, minimização de custos operacionais e prolongamento da vida útil dos ativos industriais. Além dos ganhos em produtividade e qualidade, essa abordagem fortalece a melhoria contínua e a sustentabilidade nos processos produtivos. Conclui-se que o alinhamento entre a filosofia lean e a gestão da manutenção representa uma estratégia eficaz para promover maior eficiência operacional, confiabilidade e competitividade nos sistemas industriais.

**Palavras-chave:** Lean Manufacturing; Manutenção; Máquinas; Confiabilidade.

## ABSTRACT

Lean Manufacturing, initially focused on eliminating waste and optimizing production, has expanded its application to the

management of machine maintenance and reliability, establishing itself as a relevant strategy for industrial performance. This literature review article analyzes the integration of lean principles into maintenance practices, highlighting tools and methodologies aimed at reducing failures, increasing operational availability, and improving equipment reliability. Among the main approaches identified are Total Productive Maintenance (TPM), standardization of routines, the use of performance indicators, and the involvement of operators in the daily monitoring and care of machines. The literature shows that the application of Lean Manufacturing to maintenance favors the integration of preventive, predictive, and corrective strategies with lean tools, contributing to the reduction of unplanned downtime, minimization of operational costs, and extension of the useful life of industrial assets. In addition to gains in productivity and quality, this approach strengthens continuous improvement and sustainability in production processes. It can be concluded that the alignment between lean philosophy and maintenance management represents an effective strategy to promote greater operational efficiency, reliability, and competitiveness in industrial systems.

**Keywords:** Lean Manufacturing; Maintenance; Machinery; Reliability.

## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente industrial moderno exige níveis crescentes de eficiência, confiabilidade e redução de custos para que as empresas mantenham sua competitividade. Nesse contexto, o Lean Manufacturing surge como uma filosofia de gestão voltada para a eliminação de desperdícios, otimização de processos e agregação de valor ao cliente. Desenvolvido a partir do Sistema Toyota de Produção, o Lean fundamenta-se na melhoria contínua e na busca

por fluxos produtivos mais eficientes e flexíveis (OHNO, 1997; WOMACK; JONES, 2004).

Embora tradicionalmente aplicado aos processos produtivos, o Lean Manufacturing apresenta grande potencial quando direcionado à área de manutenção e confiabilidade de máquinas, setores essenciais para garantir continuidade operacional e qualidade dos produtos. Segundo Womack e Jones (2004), a eliminação sistemática de desperdícios permite não apenas ganhos produtivos, mas também melhorias significativas em processos de suporte, incluindo manutenção.

A competitividade industrial tem impulsionado empresas a adotarem métodos de gestão capazes de aumentar a disponibilidade dos equipamentos e reduzir falhas inesperadas. Nesse cenário, a aplicação dos princípios enxutos na manutenção está diretamente associada à busca por maior eficiência operacional e prolongamento da vida útil dos ativos industriais (KARDEC; NASCIF, 2004).

Práticas como a Manutenção Produtiva Total (TPM) têm sido amplamente utilizadas para integrar operadores e equipes técnicas em ações preventivas e preditivas, promovendo redução de paradas não programadas e melhoria da eficiência global dos equipamentos (NAKAJIMA, 1988; WIREMAN, 2004). Além disso, o Kaizen, entendido como melhoria contínua, fortalece a cultura organizacional voltada para pequenas melhorias permanentes nos processos (IMAI, 1994).

Portanto, compreender a integração entre Lean Manufacturing, manutenção e confiabilidade representa um passo essencial para alinhar produtividade, qualidade e sustentabilidade, consolidando-

se como estratégia indispensável para organizações que buscam vantagem competitiva no cenário industrial global.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Referencial Teórico**

O referencial teórico deste estudo aborda os princípios do Lean Manufacturing e sua aplicação na gestão da manutenção industrial, com ênfase na confiabilidade de máquinas e no desempenho dos sistemas produtivos. A literatura demonstra que a filosofia enxuta ultrapassou os limites do ambiente fabril e passou a ser aplicada em áreas estratégicas da organização, incluindo manutenção e gestão de ativos (WOMACK; JONES, 2004).

Nesse contexto, discutem-se conceitos relacionados à Manutenção Produtiva Total (TPM), Just in Time (JIT), Kanban, metodologia 5S e melhoria contínua (Kaizen), ferramentas amplamente associadas à filosofia lean e relevantes para a gestão eficiente da manutenção (OHNO, 1997; IMAI, 1994).

A revisão da literatura busca não apenas reunir conceitos consolidados, mas demonstrar como o alinhamento entre Lean Manufacturing e manutenção industrial vem sendo explorado pela comunidade científica como estratégia de competitividade, sustentabilidade e confiabilidade operacional (TSANG, 2002).

### **2.2. Conceito de Lean Manufacturing**

O *Lean Manufacturing* ou Manufatura Enxuta, surgiu no Japão a partir do Sistema Toyota de Produção, desenvolvido com o propósito de eliminar desperdícios e maximizar o valor entregue ao cliente

(OHNO, 1997). Segundo Womack e Jones (2004), a filosofia Lean fundamenta-se na identificação e eliminação sistemática de atividades que não agregam valor, promovendo fluxos produtivos mais eficientes e flexíveis.

Os desperdícios combatidos pelo *Lean* incluem superprodução, espera, transporte excessivo, movimentação desnecessária, estoques elevados, retrabalho e processamento inadequado, sendo considerados fatores limitantes da produtividade industrial (OHNO, 1997).

Embora inicialmente direcionada ao ambiente produtivo, a abordagem lean passou a ser aplicada em diferentes setores organizacionais, especialmente na manutenção industrial. Nesse cenário, surge a *Lean Maintenance*, definida como a aplicação dos princípios enxutos aos processos de manutenção, buscando reduzir atividades improdutivas, otimizar recursos e aumentar a confiabilidade dos equipamentos (MCCARTHY; RICH, 2004).

Tal integração está fortemente associada à Manutenção Produtiva Total (TPM), proposta por Nakajima (1988), cujo objetivo central é maximizar a eficiência global dos equipamentos (Overall Equipment Effectiveness – OEE) por meio da participação de todos os níveis organizacionais. A TPM estrutura-se em pilares como manutenção autônoma, manutenção planejada, educação e treinamento, melhoria focada e segurança operacional, reforçando uma cultura organizacional orientada à prevenção de falhas e melhoria contínua (NAKAJIMA, 1988; WIREMAN, 2004).

### **2.3. Manutenção Industrial**

A manutenção industrial compreende o conjunto de atividades técnicas, administrativas e gerenciais destinadas a manter ou restaurar equipamentos em condições adequadas de operação. Seu papel vai além da correção de falhas, assumindo caráter estratégico para garantir produtividade, segurança e qualidade nos processos industriais (KARDEC; NASCIF, 2004).

Historicamente, predominava a manutenção corretiva, realizada apenas após a ocorrência de falhas. Entretanto, a crescente complexidade tecnológica e a necessidade de maior competitividade impulsionaram o desenvolvimento de estratégias mais eficientes, como manutenção preventiva, preditiva e manutenção centrada na confiabilidade (MOUBRAY, 2000).

A manutenção preventiva baseia-se em intervenções programadas, enquanto a manutenção preditiva utiliza técnicas de monitoramento e diagnóstico, como análise de vibração, termografia e ultrassom, permitindo identificar degradações operacionais em estágio inicial (TSANG, 2002). Já a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) estabelece prioridades de intervenção considerando criticidade e modos de falha dos ativos (MOUBRAY, 2000).

Dentro do contexto industrial moderno, a manutenção deixou de ser apenas atividade de suporte e passou a integrar a estratégia organizacional, influenciando diretamente custos operacionais, eficiência energética e competitividade empresarial (KARDEC; NASCIF, 2004; TSANG, 2002).

## **2.4. Confiabilidade de Máquinas**

A confiabilidade de máquinas refere-se à capacidade de um equipamento desempenhar suas funções requeridas sem falhas durante determinado intervalo de tempo e sob condições operacionais específicas (MOUBRAY, 2000). Trata-se de um dos principais indicadores de desempenho industrial, diretamente associado à continuidade produtiva e à eficiência operacional.

Entre os conceitos centrais da engenharia da confiabilidade destaca-se o intervalo P-F, que representa o período entre a identificação de uma falha potencial e a ocorrência da falha funcional. Essa abordagem fornece suporte técnico para intervenções preventivas e preditivas, reduzindo riscos operacionais e evitando paradas inesperadas (MOUBRAY, 2000).

A Manutenção Centrada na Confiabilidade utiliza essa lógica para definir políticas de manutenção mais assertivas, priorizando ações conforme criticidade, probabilidade de falha e impactos operacionais. Dessa forma, a confiabilidade não se limita à disponibilidade do equipamento, mas envolve segurança, qualidade do produto e estabilidade do processo produtivo (TSANG, 2002).

A integração entre confiabilidade e Lean Manufacturing potencializa o desempenho dos sistemas industriais, uma vez que a eliminação de desperdícios e a prevenção sistemática de falhas contribuem simultaneamente para aumento da produtividade, redução de custos e melhoria contínua dos ativos industriais (MCCARTHY; RICH, 2004).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Tipo de Pesquisa e Procedimentos Metodológicos**

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem qualitativa, de natureza básica e objetivo exploratório-descritivo, desenvolvido por meio de revisão da literatura. A abordagem qualitativa foi adotada por permitir a interpretação e análise crítica dos conceitos, teorias e práticas relacionadas ao *Lean Manufacturing* aplicado à gestão da manutenção e à confiabilidade de máquinas, sem a utilização de métodos estatísticos ou experimentais.

Quanto à natureza, a pesquisa classifica-se como básica, uma vez que busca ampliar o conhecimento científico acerca da integração entre manufatura enxuta, manutenção industrial e confiabilidade, contribuindo para o aprofundamento teórico do tema e para futuras investigações acadêmicas.

Em relação aos objetivos, o estudo possui caráter exploratório e descritivo. Exploratório porque busca ampliar a compreensão sobre a aplicação do *Lean Manufacturing* na manutenção industrial e na confiabilidade de máquinas, identificando conceitos, ferramentas e tendências presentes na literatura especializada. Descritivo por apresentar e sistematizar conhecimentos relacionados às práticas de manutenção enxuta, seus princípios e impactos no desempenho operacional.

Quanto aos procedimentos técnicos, adotou-se a pesquisa bibliográfica, fundamentada na análise de livros, artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos relevantes sobre *Lean Manufacturing*, Manutenção Produtiva Total (TPM), *Kaizen*, *Just-in-Time* (JIT), *Kanban*, manutenção industrial e confiabilidade de máquinas. As fontes utilizadas foram selecionadas com base em sua relevância científica, reconhecimento acadêmico e aderência ao tema estudado.

A revisão da literatura concentrou-se em publicações clássicas e contemporâneas, permitindo estabelecer um estado da arte sobre a integração entre filosofia *Lean* e gestão da manutenção. Dessa forma, a metodologia adotada possibilitou identificar convergências teóricas, lacunas de pesquisa e contribuições da literatura para o aprimoramento da eficiência operacional e da confiabilidade dos sistemas industriais.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A revisão crítica da literatura evidencia que a aplicação do *Lean Manufacturing* na manutenção e confiabilidade de máquinas promove mudanças significativas na gestão dos ativos industriais, contribuindo para a redução de desperdícios, aumento da disponibilidade operacional e melhoria da eficiência produtiva. Historicamente, a manutenção industrial era predominantemente corretiva, caracterizada por intervenções realizadas apenas após a ocorrência de falhas. Contudo, com o aumento da competitividade e da complexidade dos sistemas produtivos, tornou-se necessária a adoção de estratégias mais estruturadas e preventivas, nas quais a manutenção assume papel estratégico dentro das organizações (KARDEC; NASCIF, 2004; TSANG, 2002).

Nesse contexto, os princípios do Lean Manufacturing, originados no Sistema Toyota de Produção, passaram a ser incorporados à manutenção industrial como forma de eliminar desperdícios e aumentar o valor agregado dos processos. Ohno (1997) destaca que os desperdícios relacionados à espera, movimentação, retrabalho e estoques excessivos também se manifestam na manutenção, impactando diretamente o desempenho operacional. Womack e

Jones (2004) reforçam que a eliminação sistemática dessas perdas é essencial para a criação de fluxos eficientes e estáveis.

#### **4.1. Lean Manufacturing e Redução de Desperdícios na Manutenção**

A aplicação do Lean Manufacturing na manutenção tem como principal resultado a redução de desperdícios operacionais e a otimização dos recursos técnicos e humanos. McCarthy e Rich (2004) afirmam que a Lean Maintenance deve ser compreendida como um sistema integrado de gestão, e não apenas como ferramenta de redução de custos. Nesse sentido, práticas como padronização de processos, gestão visual e Kanban contribuem para a organização das atividades e redução de atrasos operacionais.

Mostafa, Dumrak e Soltan (2013) observam que a aplicação da manutenção enxuta promove melhorias significativas na eficiência dos processos, principalmente por meio da redução de estoques excessivos e do melhor planejamento das intervenções. Dessa forma, o Lean Manufacturing contribui diretamente para a racionalização dos recursos e aumento da eficiência global da manutenção.

#### **4.2. TPM, Confiabilidade e Manutenção Preditiva**

A Manutenção Produtiva Total (TPM), proposta por Nakajima (1988), constitui um dos pilares fundamentais da integração entre produção e manutenção. A TPM promove o envolvimento dos operadores na preservação dos equipamentos, fortalecendo práticas de manutenção autônoma e preventiva.

Wireman (2004) destaca que a TPM impacta diretamente o OEE (Overall Equipment Effectiveness), indicador essencial para medir a eficiência global dos equipamentos. Já Ahuja e Khamba (2008) demonstram que a implementação da TPM associada ao *Lean Manufacturing* reduz significativamente o tempo de parada e aumenta a confiabilidade dos ativos. A comparação entre os tipos de manutenção pode ser observada na **Tabela 1**.

**Tabela 1** – Comparação entre tipos de manutenção industrial.

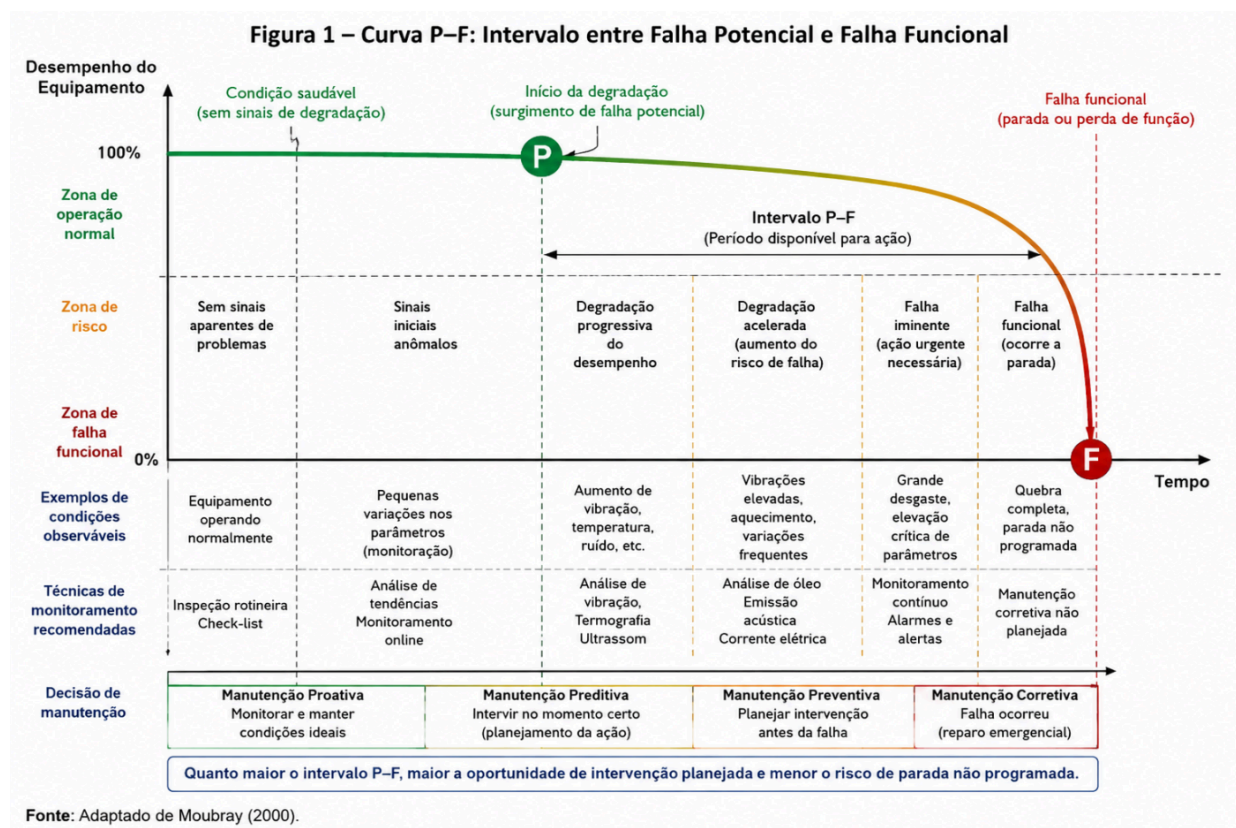
Critério	Corretiva	Preventiva	Preditiva
Base	Falha ocorrida	Tempo programado	Condição do equipamento
Planejamento	Baixo	Médio	Alto
Monitoramento	Inexistente	Parcial	Contínuo
Custo inicial	Baixo	Médio	Alto
Custo total	Elevado	Médio	Otimizado
Risco de falha	Alto	Médio	Baixo

**Fonte:** Adaptado de Kardec e Nascif (2004); Moubray (2000).

A evolução da degradação de ativos industriais ao longo do tempo pode ser compreendida por meio da Curva P-F, que relaciona o ponto de falha potencial (P) ao ponto de falha funcional (F). Esse comportamento evidencia que, antes da falha completa do equipamento, existe um intervalo detectável em que sinais de deterioração começam a surgir. Nesse estágio, técnicas de monitoramento de condição permitem identificar anomalias ainda em desenvolvimento. A manutenção preditiva atua justamente

nesse intervalo, possibilitando intervenções planejadas. Dessa forma, reduz-se a probabilidade de paradas inesperadas e danos mais severos aos ativos. A análise contínua do desempenho operacional é, portanto, essencial para a confiabilidade do sistema.

A Figura 1 ilustra a Curva P-F, representando o processo progressivo de degradação de um ativo ao longo do tempo. Inicialmente, o equipamento opera em condição normal, sem indícios perceptíveis de falha, mantendo estabilidade funcional. Com o avanço do tempo, surgem sinais de falha potencial (P), detectáveis por meio de técnicas como análise de vibração, termografia e sensores industriais. A partir desse ponto, a condição do ativo se deteriora de forma contínua até atingir a falha funcional (F), quando ocorre a perda total ou significativa da capacidade operacional. O intervalo entre P e F representa a janela de oportunidade para ações de manutenção preditiva. Nesse intervalo, decisões baseadas em dados permitem otimizar custos e aumentar a confiabilidade operacional.



Fonte: Adaptado de Moubray (2000).

O intervalo P-F representa o período entre a identificação de uma falha potencial e sua evolução para falha funcional. Quanto maior a capacidade de monitoramento nesse intervalo, maior a confiabilidade do sistema produtivo.

### **4.3. Confiabilidade, Kaizen e Cultura Organizacional**

A confiabilidade dos ativos industriais está diretamente relacionada à capacidade dos equipamentos de operar sem falhas em determinado período. Moubray (2000) argumenta que a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) permite definir estratégias mais eficientes de manutenção com base na criticidade dos ativos e nos modos de falha.

Tsang (2002) reforça que a manutenção moderna passou a desempenhar papel estratégico nas organizações industriais, contribuindo para a estabilidade operacional e redução de riscos. Imai (1994) introduz o conceito de Kaizen como filosofia de melhoria contínua, baseada em pequenas melhorias constantes que envolvem todos os níveis organizacionais. Essa abordagem fortalece a cultura de manutenção preventiva e promove maior engajamento dos colaboradores.

Entretanto, a literatura também aponta desafios relevantes, como resistência organizacional e necessidade de investimentos em capacitação e tecnologia. Womack e Jones (2004) destacam que a implementação do Lean requer mudança cultural profunda, indo além da adoção de ferramentas isoladas. Assim, os resultados indicam que a integração entre Lean Manufacturing, TPM, MCC e confiabilidade representa uma estratégia robusta para aumentar a

eficiência operacional, reduzir desperdícios e fortalecer a competitividade industrial.

## **5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A presente revisão de literatura demonstrou que a aplicação do Lean Manufacturing na manutenção e confiabilidade de máquinas representa uma abordagem estratégica essencial para o aumento da eficiência operacional nas organizações industriais. Observou-se que a integração entre princípios enxutos e práticas de manutenção contribui diretamente para a redução de desperdícios, diminuição de falhas mecânicas, aumento da disponibilidade dos equipamentos e melhoria dos indicadores de desempenho, como o OEE.

A análise evidenciou que a Manutenção Produtiva Total (TPM) desempenha papel central nesse processo, ao promover o envolvimento dos operadores na preservação dos ativos e ao fortalecer a cultura de manutenção autônoma e preventiva. De forma complementar, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e as práticas de manutenção preditiva se destacam como ferramentas fundamentais para antecipação de falhas, especialmente por meio da utilização do intervalo P-F e de tecnologias de monitoramento.

Além disso, a pesquisa destacou que ferramentas como Kaizen, 5S, Kanban e Just-in-Time contribuem significativamente para a eliminação de desperdícios e para a melhoria contínua dos processos de manutenção, reforçando a importância da integração entre produção e manutenção como um sistema único e interdependente.

Contudo, a literatura também aponta desafios relevantes para a implementação dessas práticas, especialmente relacionados à resistência cultural, necessidade de capacitação técnica e investimentos em tecnologias de monitoramento. Mesmo assim, os estudos analisados indicam que os benefícios de longo prazo superam amplamente os custos iniciais de implantação.

Dessa forma, conclui-se que o Lean Manufacturing aplicado à manutenção e confiabilidade de máquinas não deve ser compreendido apenas como um conjunto de ferramentas, mas sim como uma filosofia de gestão integrada, capaz de promover sustentabilidade operacional, competitividade industrial e melhoria contínua dos processos produtivos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/02656710810898690>. Acesso em: fev. 2026.

IMAI, Masaaki. *Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo*. São Paulo: IMAM, 1994. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 18 fev. 2026.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: função estratégica*. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 22 fev. 2026.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 2015.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

Acesso em: abr. 2026.

MCCARTHY, Dennis; RICH, Nick. Lean TPM: a blueprint for change. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2004. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 11 mar. 2026.

MOUBRAY, John. Reliability-Centered Maintenance. 2. ed. New York: Industrial Press, 2000. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 19 mar. 2026.

MOSTAFA, S.; DUMRAK, J.; SOLTAN, H. Lean maintenance implementation. Procedia Manufacturing, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2013.09.043>  
Acesso em: abr. 2026.

NAKAJIMA, Seiichi. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Cambridge: Productivity Press, 1988. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 02 abr. 2026.

OHNO, Taiichi. O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 09 abr. 2026.

TSANG, A. H. C. Strategic dimensions of maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 8, n. 1, p. 7–39, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/13552510210420577>. Acesso em: 24 abr. 2026.

WIREMAN, Terry. Total Productive Maintenance. New York: Industrial Press, 2004. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 30 abr. 2026.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 08 maio 2026.

\_\_\_\_\_. A máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Campus, 2004. Disponível em: <https://books.google.com/>. Acesso em: 15 maio 2026.

---

<sup>1</sup> Discente do Curso Superior de Engenharia Mecânica da Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica- FUCAPI, Manaus-AM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

<sup>2</sup> Docente do Curso Superior de do Curso Superior de Engenharia Mecânica da Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica- FUCAPI, Manaus-AM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).