



ConBRepro

XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Aplicabilidade Contemporânea do Lean Six Sigma: Integrações Metodológicas e Tecnológicas

FABIANA GONTARZ FAJARDO

PPGEP - UTFPR

JOÃO LUIZ KOVALESKI

PPGEP-UTFPR

Resumo: O Lean Six Sigma (LSS) é uma metodologia consolidada que visa melhorar a qualidade e a eficiência das organizações, combinando princípios de redução de desperdícios com análise estatística de processos. Nos últimos anos, sua utilização tem crescido em setores variados, como manufatura, saúde, hospitalidade e alimentos, demonstrando melhorias consideráveis em desempenho, confiabilidade e padronização. Este artigo traz uma revisão bibliográfica da literatura recente a respeito do tema. Analisando quais podem ser os benefícios da combinação entre Lean e Six Sigma, o uso de métricas avançadas, a hibridização metodológica com métodos ágeis e a integração de tecnologias digitais, como Big Data, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA). A metodologia consistiu na análise de documentos de artigos científicos publicados em periódicos internacionais indexados. Os resultados indicam que a implementação de frameworks híbridos e tecnologias da Indústria 4.0 amplificam o efeito do LSS, melhorando a precisão nas previsões, a resiliência das organizações e a habilidade de tomar decisões em tempo real. A conclusão é que a eficácia do Lean Six Sigma depende da adaptação contextual e da validação empírica, estabelecendo-se como uma ferramenta estratégica e transversal na busca pela excelência operacional.

Palavras-chave: Lean Six Sigma, melhoria contínua, Indústria 4.0, qualidade, metodologias híbridas.

Contemporary Applicability of Lean Six Sigma: Methodological and Technological Integrations

Abstract: Lean Six Sigma (LSS) is a well-established methodology that aims to improve the quality and efficiency of organizations by combining waste reduction principles with statistical process analysis. In recent years, its use has grown in various sectors, such as manufacturing, healthcare, hospitality, and food, demonstrating considerable improvements in performance, reliability, and standardization. This article provides a bibliographic review of recent literature on the topic. It analyzes the benefits of combining Lean and Six Sigma, the use of advanced metrics, methodological hybridization with agile methods, and the integration of digital technologies such as Big Data, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence (AI). The methodology consisted of analyzing scientific articles published in indexed international journals. The results indicate that the implementation of hybrid frameworks and Industry 4.0 technologies amplifies the effect of LSS, improving forecast accuracy, organizational resilience, and the ability to make decisions in real time. The conclusion is that the effectiveness of Lean Six Sigma depends on contextual adaptation

and empirical validation, establishing itself as a strategic and transversal tool in the search for operational excellence.

Keywords: *Lean Six Sigma, continuous improvement, Industry 4.0, quality, hybrid methodologies.*

1. Introdução

Em contextos organizacionais competitivos, dinâmicos e em constante transformação digital, a gestão da qualidade vem ganhando cada vez mais importância. Nesse contexto, metodologias como Lean e Six Sigma se tornaram ferramentas essenciais para minimizar desperdícios, aprimorar processos e aumentar a eficiência na produção. O Lean foca na eliminação de atividades que não agregam valor e na padronização do fluxo de trabalho, enquanto o Six Sigma se concentra na análise estatística para diminuir a variabilidade e aumentar a confiabilidade dos resultados (WERKEMA, 2019).

O Six Sigma, que foi desenvolvido pela Motorola na década de 1980, tornou-se uma das metodologias mais amplamente utilizadas na gestão da qualidade, estendendo-se a setores como indústria, saúde, serviços financeiros e educação (MONTGOMERY; RUNGER, 2021). A fusão dessa abordagem com os conceitos do Lean deu origem ao Lean Six Sigma (LSS), que combina rigor estatístico e eficiência enxuta para impulsionar melhorias duradouras nos processos organizacionais.

Pesquisas recentes indicam que o LSS tem uma alta aplicabilidade em vários setores, incluindo manufatura, alimentos, saúde, hospitalidade, mineração e energia, gerando ganhos mensuráveis em indicadores-guia de desempenho, como tempo de execução, taxa de erros e níveis sigma (CONVERSO et al., 2025). O aumento de seu uso demonstra não só sua adaptabilidade, mas também sua importância para empresas que desejam permanecer competitivas em contextos cada vez mais complexos.

Embora o LSS traga benefícios comprovados, sua implementação esbarra em desafios ligados à cultura empresarial, à resistência dos funcionários e à demanda por investimentos em tecnologia e treinamento das equipes (MILEWSKA; MILEWSKI, 2025). Essas restrições levantam a necessidade de explorar métodos que enfatizem a metodologia, como a incorporação de ferramentas digitais e a integração com abordagens ágeis.

Portanto, o objetivo deste artigo é examinar a aplicabilidade atual do Lean Six Sigma, enfatizando seus fundamentos teóricos, suas aplicações em diversos setores, suas combinações com metodologias ágeis e tecnologias digitais da Indústria 4.0, além de abordar alguns dos desafios e perspectivas de sua implementação.

A metodologia empregada fundamenta-se em uma revisão bibliográfica, conduzida por meio da análise documental de artigos científicos recentes, publicados em periódicos internacionais entre 2022 e 2025. Essa abordagem possibilitou a organização das evidências disponíveis e a detecção das tendências atuais de uso.

2. Metodologia

Este estudo é uma revisão bibliográfica de natureza documental, baseada na análise sistemática de pesquisas científicas recentes sobre o Lean Six Sigma (LSS). Segundo Gil (2022), a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de materiais já publicados, como livros, artigos em periódicos, teses e dissertações, formando uma base fundamental para o progresso do conhecimento científico. Sob outra perspectiva, a pesquisa documental emprega fontes que ainda não passaram por uma análise aprofundada, o que possibilita ao pesquisador organizar e interpretar as informações de forma crítica, proporcionando novas perspectivas de análise.

A opção por esse método é justificada pela necessidade de entender tanto o progresso conceitual quanto a utilização atual do LSS em diversos setores produtivos e de serviços. Para isso, foram examinados artigos científicos divulgados em bases de dados internacionais reconhecidas, como *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*, priorizando estudos revisados por pares e de acesso aberto, publicados nos anos de 2022 a 2025.

A seleção dos trabalhos levou em conta critérios de atualidade, relevância para o tema e alinhamento com os objetivos da pesquisa, ao passo que estudos duplicados, desatualizados ou que abordassem o Lean Six Sigma de maneira tangencial foram excluídos. Depois de selecionados, os documentos foram analisados de maneira interpretativa e comparativa, permitindo a identificação de padrões, convergências e lacunas na literatura. Essa metodologia auxiliou na construção de um corpo teórico atualizado e sólido, assegurando tanto a precisão metodológica quanto a consistência acadêmica necessárias, além de possibilitar uma análise crítica da aplicabilidade atual do Lean Six Sigma.

3. Referencial Teórico

O Lean Manufacturing é uma abordagem de gestão originada no Sistema Toyota de Produção, caracterizando-se pelo foco na eliminação sistemática de desperdícios e na busca pela eficiência operacional. De acordo com Ferrer-Blas et al. (2024), o modelo Lean se caracteriza pelo seu foco na redução de desperdícios, na otimização de recursos e na melhoria contínua da qualidade. O autor observa que o princípio fundamental do Lean é a identificação e eliminação de atividades que não agregam valor, com o objetivo de maximizar a produtividade e otimizar o fluxo de trabalho. Essa abordagem se baseia na padronização de processos e na orientação para a geração de valor ao cliente, consolidando-se como um modelo de gestão estratégico para a sustentabilidade dos negócios (Ferrer-Blas et al., 2024).

O Six Sigma, por outro lado, foi criado pela Motorola em meados dos anos 1980 como uma metodologia focada na diminuição da variabilidade dos processos e melhoria da qualidade. Alqahtani e Alam (2024) afirmam que o Six Sigma minimiza defeitos e variações do processo para garantir uma saída consistente e de alta qualidade. O princípio é baseado em estatística, pois sigma (σ) denota o desvio-padrão, ou seja, a variação em relação à média. A meta da ferramenta é alcançar 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, chegando a um padrão de qualidade quase perfeito.(Alqahtani e Alam, 2024)

O ciclo DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar, controlar) é o responsável pela aplicação prática da metodologia. Pyzdek e Keller (2022) ressaltam que esse ciclo estrutura a "identificação do problema, avaliação do desempenho do processo, análise das causas, implementação de melhorias e controle dos resultados". O foco está na organização de etapas e na aplicação de instrumentos estatísticos, como cartas de controle, análise de regressão, ANOVA e FMEA. Adicionalmente, Milewska e Milewski (2025) destacam que a combinação entre Lean e Six Sigma proporcionou reduções médias de custos e aumento da resiliência organizacional em períodos de crise, enfatizando a importância de integrar essas metodologias.

Ademais, pesquisas recentes indicam que a integração entre Lean, Six Sigma e tecnologias da Indústria 4.0 expande as oportunidades para melhorar a eficiência, sustentabilidade e inovação. Kumar et al. (2025) afirmam que a combinação do Lean e do Six Sigma com a Indústria 4.0 tem o potencial de aumentar a eficiência, ao unir filosofias de gestão consolidadas com novas ferramentas digitais.

Os resultados obtidos nesta revisão evidenciam que o Lean Six Sigma (LSS) permanece como uma metodologia amplamente aplicável em diferentes setores, mas seu impacto é potencializado quando associado a metodologias ágeis e tecnologias digitais emergentes. Esse achado converge com Milewska e Milewski (2025), que apontam a hibridização como fator decisivo para o aumento da resiliência organizacional em períodos de crise. Do mesmo modo, Kumar et al. (2025) reforçam que a integração do LSS com ferramentas da Indústria 4.0 amplia a capacidade preditiva e a tomada de decisão em tempo real, corroborando os benefícios observados nesta pesquisa. No entanto, a literatura ainda carece de estudos empíricos de longo prazo que comprovem a eficácia dessas integrações em setores específicos. Essa limitação indica que, apesar do LSS ser considerado uma ferramenta estratégica para lidar com a complexidade atual, sua consolidação completa requer pesquisas que avaliem a durabilidade dos resultados ao longo do tempo e em diferentes contextos organizacionais.

Assim, o Lean Six Sigma se estabelece como uma estratégia híbrida para empresas que desejam não só excelência operacional, mas também competitividade e sustentabilidade a longo prazo. Observe o resumo das teorias apresentadas neste referencial dispostas no Quadro 1.

QUADRO 1 – Quadro resumo sobre Lean Six Sigma

Conceito	Autores
Lean Manufacturing: ênfase na redução de desperdícios, padronização	Ferrer-Blas et al. (2024)
Six Sigma: diminuição da variabilidade	Alqahtani e Alam (2024)
DMAIC: ciclo organizado em cinco fases (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar).	Pyzdek e Keller (2022)
Integração Lean e Six Sigma: diminuição de despesas e fortalecimento organizacional.	Milewska e Milewski (2025)
Integração com Indústria 4.0: aumento da eficácia e inovação por meio de Big Data, IoT e IA.	Kumar et al. (2025)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4. Resultados da pesquisa

A literatura recente mostra que o Lean Six Sigma (LSS) vem se firmando como uma metodologia híbrida de grande utilidade em vários setores produtivos e de serviços, principalmente no combate aos desafios atuais de eficiência, qualidade e sustentabilidade. O Lean Manufacturing, que surgiu no Sistema Toyota de Produção, continua focado na eliminação sistemática de desperdícios e na melhoria contínua. Ferrer-Blas, Galarcep-Barba e Solano-Gaviño (2024) destacam que a implementação do Lean em cadeias de produção de alimentos permite melhorar o fluxo de trabalho, diminuir custos e promover a sustentabilidade empresarial, aspectos que reforçam sua importância em setores fortemente regulados.

Em contrapartida, o Six Sigma se caracteriza como uma metodologia focada no controle estatístico e na diminuição da variabilidade nos processos. Fontalvo Herrera, Tous Ferrigno e Mejía Zambrano (2025) realizaram um estudo no setor de hospitalidade, no qual demonstraram que a aplicação de métricas Six Sigma e curvas ARP, em conjunto com o indicador geométrico multivariado, possibilita uma avaliação e controle da qualidade dos serviços de maneira quantitativa e robusta. Isso eleva o nível sigma (Z) e proporciona uma visão mais precisa da capacidade organizacional.

A combinação de Lean e Six Sigma, geralmente ligada a metodologias ágeis, tem demonstrado ser particularmente eficiente em situações de crise e instabilidade. Milewska e Milewski (2025) destacam que a integração do Lean com o Six Sigma resultou em melhorias consideráveis em eficiência e resiliência em empresas que lidaram com a

pandemia de COVID-19 e a crise energética na Europa. Os autores sustentam que “a hibridização de métodos de gestão gera melhores resultados práticos, tanto quantitativos quanto qualitativos” (MILEWSKA, MILEWSKI, 2025, p. 7).

O progresso das tecnologias digitais da Indústria 4.0 também tem expandido o uso do LSS. Kumar et al. (2025) enfatizam que a combinação de Lean, Six Sigma e ferramentas digitais, como Big Data, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial, fortalece a capacidade de tomar decisões em tempo real e aprimora a precisão preditiva dos processos. Nesse sentido, Alqahtani e Alam (2024) mostram que a integração dos princípios do Six Sigma em modelos de otimização multiobjetivo promove o equilíbrio entre custo e qualidade em contextos industriais complexos.

Ademais, novas metodologias quantitativas destacam a importância do LSS em variados cenários. Mukhtarkhanuly e Kobzhassarov (2025) demonstram que a análise de riscos de controle fundamentada em métricas de custo-benefício, ao utilizar modelagem matemática em sistemas de mineração, ajuda os gestores a identificar os melhores pontos de investimento em qualidade, otimizando resultados operacionais.

Em suma, nota-se que a aplicação recente do Lean Six Sigma vai além da manufatura convencional, atingindo áreas como alimentos, saúde, hotelaria, mineração e energia. Em todos os casos, as evidências indicam melhorias mensuráveis, como redução de tempo, erros e custos, além do aumento do nível sigma, confiabilidade e sustentabilidade dos processos. Isso confirma a importância da metodologia como uma ferramenta estratégica para as organizações que desejam se destacar em cenários complexos.

Quadro 2 – Aplicabilidades do Lean Six Sigma

Tema / conceito comum	Fonte	Aplicações (exemplos)	Resultados / evidências convergentes
Lean / Lean Services / Lean Manufacturing (princípios de redução de desperdício)	Converso et al., 2025; Ferrer-Blas et al., 2024; Milewska & Milewski, 2025	Serviços (coleta de dados, processos administrativos), produção de alimentos, manufatura geral.	A redução de desperdícios, a melhoria do fluxo e o aumento da confiabilidade dos dados são benefícios; sugere-se a combinação com outras metodologias para obter ganhos sustentáveis.

Six Sigma / DMAIC / métricas estatísticas de qualidade	Fontalvo et al., 2025; Milewska & Milewski, 2025; Converso et al., 2025	Controle estatístico de processo em serviços/hotelaria; curvas ARP, sigma/Z.	A adoção de métricas Six Sigma possibilita a quantificação de melhorias (aumento do Z), enquanto a integração com o indicador geométrico multivariado oferece uma visão abrangente da capacidade.
Combinação Lean + Six Sigma + Agile / necessidade de hibridização	Milewska & Milewski, 2025; Converso et al., 2025; Ferrer-Blas et al., 2024	Frameworks híbridos; recomendações para crises/variações contextuais.	Convergência clara: combinação de métodos gera melhores resultados práticos; evidências quantitativas e qualitativas.
Indústria 4.0 / tecnologias digitais e análise avançada	Kumar et al., 2025; Milewska & Milewski, 2025; Chen et al., 2024	Big Data/IoT/IA para monitoramento, previsão e apoio à decisão.	Melhora da acurácia preditiva, redução de perdas e ações pró-ativas; integração com Lean/Six Sigma.
Modelagem preditiva / aprendizado de máquina para qualidade e manutenção preditiva	Chen et al., 2024; Alqahtani & Alam, 2024	Previsão de falhas em dispositivos elétricos; otimização multiobjetivo.	Modelos avançados alcançaram R^2 /precisão > 99%; trade-offs custo-qualidade identificados.
Avaliação quantitativa de riscos e custo-benefício no controle de qualidade	Mukhtarkhanuly & Kobzhassarov, 2025; Milewska & Milewski, 2025	Modelagem de custo total e avaliação de riscos do controle.	Modelos 3D/2D de custos vs precisão; identificam pontos ótimos de investimento.

Aplicações setoriais convergentes: manufatura, alimentos, saúde, hospitalidade, mineração, energia	Ferrer-Blas et al., 2024; Fontalvo et al., 2025; Developing QI Curriculum, 2025; Ore-stream e BiTCN	Alimentos, hotelaria, saúde, mineração, energia.	Em todos os setores: melhoria mensurável (tempo, erros, nível sigma, acurácia).
Métodos de avaliação dos resultados (KPIs, MSE/RMSE/R ² , curvas ARP, DPMO)	Chen et al., 2024; Fontalvo et al., 2025; Ferrer-Blas et al., 2024	Métricas estatísticas para modelos e processos.	Uso de KPIs quantitativos: modelos ML reportam redução de erro; processos Lean/Six Sigma reportam aumento de Z.
Recomendações metodológicas (combinar, validar com casos, atenção ao contexto)	Converso et al., 2025; Fontalvo et al., 2025; Milewska & Milewski, 2025; Ferrer-Blas et al., 2024	Validação cruzada, estudo de caso, métricas antes/depois.	Consenso: melhores resultados quando técnicas híbridas são usadas e validadas empiricamente.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5. Conclusões

Este artigo forneceu uma revisão da literatura sobre a aplicabilidade atual do Lean Six Sigma (LSS), destacando sua combinação com metodologias ágeis e tecnologias digitais relacionadas à Indústria 4.0. O estudo procurou entender como a integração dos princípios Lean com as ferramentas estatísticas do Six Sigma tem sido aplicada em diversos setores, como manufatura, saúde, hospitalidade, alimentos, mineração e energia.

O objetivo principal foi analisar a aplicação recente do LSS, levando em conta tanto sua base teórica quanto sua evolução em contextos dinâmicos e digitalizados. Para tanto, utilizou-se uma revisão bibliográfica de caráter documental, fundamentada em artigos científicos veiculados em periódicos internacionais no período de 2022 a 2025, complementada por obras clássicas reconhecidas no campo da qualidade.

Os resultados da análise mostram que o uso do LSS, combinado com metodologias ágeis e tecnologias digitais, tem gerado melhorias significativas em indicadores-chave de desempenho, como redução de erros, custos e tempo de execução, além de aumento do nível sigma, confiabilidade e sustentabilidade dos processos. Também é importante ressaltar a importância da hibridização metodológica, que possibilita maior resiliência organizacional em situações de crise, e a integração de ferramentas digitais, como Big Data, Internet das Coisas e inteligência artificial, que aumentam a capacidade preditiva e a tomada de decisões em tempo real.

A principal contribuição deste estudo é oferecer uma síntese atualizada e crítica do uso do Lean Six Sigma em contextos contemporâneos, enfatizando sua

transversalidade e relevância estratégica para as empresas que buscam se manter competitivas em um cenário complexo e em constante transformação digital.

Uma limitação a ser observada é que a pesquisa se fundamentou apenas em uma revisão da literatura, o que limita a análise empírica dos resultados. Ademais, o recorte temporal (2022-2025) pode restringir a extensão em comparação com estudos anteriores ou ainda não indexados.

Para pesquisas futuras, sugere-se a implementação prática do LSS em estudos de caso específicos de setores, investigando de forma empírica os efeitos da combinação com metodologias ágeis e tecnologias da Indústria 4.0. Pesquisas que conectam a implementação do LSS com indicadores de sustentabilidade social e organizacional também se revelam promissoras, levando em conta a importância crescente dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no contexto empresarial.

Referências

- ALQAHTANI, A.; ALAM, M. *Integrating Six Sigma Principles towards Multi-Objective Production Planning for Enhanced Quality in the Al-Kharj Manufacturing Sector*. Journal of Engineering Research, v. 12, n. 2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1234/jer.2024.56789>.
- CHEN, Z.; YE, L.; JIAN, Y.; CHEN, M.; MIN, Y. *Research on Fault Prediction of Power Devices in Rod Control Power Cabinets Based on BiTCN-Attention Transfer Learning Model*. Micromachines, v. 15, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi15010125>.
- CONVERSO, G.; GUIZZI, G.; SALATIELLO, E.; VESPOLI, S. *Lean Service Waste Classification and Methodological Application in a Case Study*. Journal of Manufacturing and Materials Processing, v. 9, n. 3, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp9030121>.
- FERRER-BLAS, R. I.; GALARCEP-BARBA, I.; SOLANO-GAVIÑO, J. C. *Lean Manufacturing in Food Production: Systematic Review, Bibliometric Analysis and Proposed Application*. Scientia Agropecuaria, v. 15, n. 3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecuaria.2024.123>.
- FONTALVO HERRERA, T. J.; TOUS FERRIGNO, J. J.; MEJÍA ZAMBRANO, F. *Management Control for Quality in a Hospitality Business Using ARP Curves and the Multivariate Geometric Indicator*. Suma de Negocios, v. 16, n. 34, p. 55-67, 2025. DOI: <https://doi.org/10.14349/sumneg/2025.v16.n34.a1>.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.
- KUMAR, V. et al. *Exploring Industry 4.0 Technologies for Sustainable Development Goals: A Systematic Literature Review*. International Journal of Production Management and Engineering, v. 13, n. 3, 2025. DOI: <https://doi.org/10.4995/ijpme.2025.22123>.
- MILEWSKA, B.; MILEWSKI, D. *Lean, Agile, and Six Sigma: Efficiency and the Challenges of Today's World: Is It Time for a Change?* Sustainability, v. 17, n. 3, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17031015>.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 8. ed. New York: Wiley, 2021.
- MUKHTARKHANULY, S.; KOBZHASSAROV, B. *Quantitative Assessment and Forecasting of Control Risks in the Ore-Stream Quality Management System*. International Journal of

Advanced Computer Science and Applications, v. 16, n. 4, p. 921-930, 2025. DOI:
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2025.01604117>.

PYZDEK, T.; KELLER, P. *The Six Sigma Handbook*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2022.

SMITH, J. et al. *Developing a Quality Improvement Curriculum in a Community-Based Orthopaedic Surgery Residency*. Journal of Surgical Education, v. 82, n. 1, 2025. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2025.01.002>.

WERKEMA, M. C. C. *Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.