RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

A integração de Lean Six Sigma e Business Analytics na otimização de processos do middle-market: uma abordagem prática

The integration of Lean Six Sigma and Business Analytics in middle-market process optimization: a practical approach

La integración de Lean Six Sigma y Business Analytics en la optimización de procesos del middle-market: un enfoque práctico

Autoria: Francisco Arnaldo Silva Araújo

- Tecnólogo em Sistemas Elétricos pela Universidade Luterana do Brasil (2009).
- Especialista em Eficiência Energética, Universidade Luterana do Brasil (2014).
- MBA em Gestão de Negócios, Faculdade São Lucas (2010).
- MBA Executivo em Gestão Financeira, Controladoria e Auditoria, Fundação Getulio Vargas (2022).
- MBA em Business Analytics & Big Data, Fundação Getulio Vargas (2025).

Resumo:
As organizações de médio porte (*middle-market*) nos setores de manufatura avançada e de logística deparam-se frequentemente com o desafio de converter dados operacionais em inteligência estratégica. A literatura recente sugere que a fragmentação informacional na cadeia de suprimentos tende a gerar gargalos logísticos e a aumentar a variabilidade dos processos. Este artigo explora, sob uma perspectiva crítica, um modelo de intervenção que integra os fundamentos da metodologia Lean Six Sigma às capacidades preditivas do Business Analytics. Por meio de uma revisão analítica, argumenta-se que essa integração pode favorecer a tomada de decisão baseada em dados, contribuindo para a resiliência operacional. Observa-se, contudo, que a eficácia desse modelo depende da superação de barreiras técnicas e culturais, o que demanda um forte investimento na capacitação analítica das lideranças.
Palavras-chave: Lean Six Sigma, Business Analytics, Tomada de Decisão Baseada em Dados, Resiliência da Cadeia de Suprimentos, Indústria 4.0.

Abstract:
Mid-market organizations in the advanced manufacturing and logistics sectors frequently face the challenge of converting operational data into strategic intelligence. Recent literature suggests that informational fragmentation in the supply chain tends to generate logistical bottlenecks and increase process variability. This article explores, from a critical perspective, an intervention model that integrates the foundations of the Lean Six Sigma methodology with the predictive capabilities of Business Analytics. Through an analytical review, it is argued that this integration may favor data-driven decision-making, contributing to operational resilience. However, the effectiveness of this model depends on overcoming technical and cultural barriers, requiring a strong investment in leadership analytical training.
Keywords: Lean Six Sigma, Business Analytics, Data-Driven Decision Making, Supply Chain Resilience, Industry 4.0.

Introdução

No contexto da Indústria 4.0, as organizações do chamado *middle-market* encontram-se em um ambiente transicional complexo, caracterizado pela adoção crescente de tecnologias digitais e pela necessidade contínua de eficiência operacional. Com a digitalização das cadeias de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

suprimentos, essas empresas passaram a registrar um volume substancial de dados operacionais. No entanto, evidências indicam que a simples coleta de informações não se traduz automaticamente em vantagem competitiva, havendo um hiato significativo entre a geração de dados e a sua efetiva utilização na formulação de estratégias corporativas.

Historicamente, a estabilização de processos industriais tem sido conduzida por meio de abordagens consagradas, como a metodologia Lean Six Sigma. Embora essa abordagem tenha demonstrado robustez na redução da variabilidade e na eliminação de desperdícios, estudos recentes apontam limitações em sua aplicação isolada diante de ecossistemas altamente dinâmicos e voláteis. Em ambientes em que a resiliência da cadeia de suprimentos é testada por disrupções globais, a dependência exclusiva de análises retrospectivas tende a limitar a capacidade de resposta organizacional, o que exige a incorporação de ferramentas preditivas mais sofisticadas.

Diante desse panorama, este artigo tem como objetivo analisar a integração teórica e prática entre o Lean Six Sigma e o Business Analytics no escopo das organizações de médio porte. A proposta é investigar como a união do rigor estatístico no controle de processos com a modelagem preditiva baseada em *Machine Learning* pode contribuir para uma tomada de decisão mais fundamentada. O texto está estruturado em cinco seções de desenvolvimento que abordam os fundamentos metodológicos, o papel da resiliência, a sinergia entre as áreas, as limitações inerentes a esse processo e, por fim, a importância da capacitação executiva.

1. Fundamentos do Lean Six Sigma e a Evolução para a Indústria 4.0

A metodologia Lean Six Sigma fundamenta-se na combinação da filosofia enxuta, voltada à eliminação de desperdícios, com o controle estatístico, destinado a mitigar a variabilidade dos processos. Tradicionalmente estruturada no ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), essa abordagem tem servido de base para a gestão da qualidade na manufatura. Observa-se que a sua aplicação metódica auxilia as organizações a identificar ineficiências sistêmicas, a padronizar rotinas e a reduzir o Custo da Má Qualidade (COPQ) ao longo da linha de produção.

Apesar de sua consolidação teórica, o Lean Six Sigma tradicional enfrenta desafios ao ser aplicado a cenários logísticos contemporâneos. Autores como Christopher (2021) enfatizam a necessidade de agilidade na cadeia de suprimentos, argumentando que o foco estrito na redução de recursos (*lean*) pode comprometer a capacidade de resposta a choques externos. Em

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

contrapartida, Gunasekaran et al. (2022) argumentam que a transição para modelos ágeis não anula os princípios do Lean, mas exige que o controle de processos seja amparado por fluxos de informação em tempo real, mitigando a rigidez do modelo clássico.

Essa necessidade de adaptação impulsionou a evolução da gestão da qualidade rumo à Indústria 4.0. A literatura indica que métodos estatísticos baseados em amostragem manual apresentam limitações severas em ambientes de dados abundantes. O controle de qualidade convencional tende a identificar o defeito após a sua ocorrência, adotando uma postura predominantemente reativa. Consequentemente, verifica-se que o Lean Six Sigma necessita de uma atualização instrumental para operar de forma otimizada em ecossistemas monitorados por sensores da Internet das Coisas (IoT).

A transição teórica para o que se convencionou chamar de "Lean 4.0" sugere uma reconfiguração do ciclo de melhoria contínua. As fases de medição e análise passam a ser alimentadas não mais por amostras finitas, mas por censos populacionais de dados extraídos diretamente dos controladores lógicos programáveis (CLPs). Dessa forma, a aplicação das ferramentas clássicas de qualidade ganha uma dimensão informacional mais profunda, permitindo que a investigação de causas-raiz seja conduzida com maior precisão estatística.

Portanto, entende-se que o Lean Six Sigma, em sua forma moderna, não atua isoladamenteFrancisco. Ele fornece o arcabouço lógico e processual necessário para que as organizações interpretem as variáveis operacionais. Contudo, para que essa estrutura atinja a previsibilidade desejada, estudos indicam que a metodologia deve ser necessariamente acoplada a ferramentas de análise de dados mais avançadas, preparando o terreno para a integração sistêmica com o Business Analytics.

2. O Papel do Business Analytics na Resiliência da Cadeia de Suprimentos

No contexto da gestão de operações, o Business Analytics transcende a mera geração de relatórios descritivos, abrangendo técnicas preditivas e prescritivas para otimizar processos complexos. A utilização de algoritmos avançados permite que as empresas processem o chamado *Big Data*, identificando correlações não lineares entre variáveis operacionais e mercadológicas. Constata-se que a adoção dessas tecnologias pode favorecer o alinhamento entre o planejamento de estoque, a roteirização de transportes e as flutuações da demanda de consumo.

Ao analisar a literatura recente sobre a extração de valor a partir de dados na manufatura, Fosso

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

Wamba et al. (2022) enfatizam que o Analytics atua como um facilitador crítico da inovação de processos. Em contraste, Dubey et al. (2023), ao examinarem evidências empíricas de operações de médio porte, ressaltam que a simples adoção tecnológica não garante resiliência; os resultados dependem da capacidade organizacional de assimilar essas informações e convertê-las em intervenções gerenciais práticas.

A resiliência da cadeia de suprimentos tornou-se um construto central nas pesquisas sobre operações contemporâneas. Trabalhos de destaque, como os de Ivanov e Dolgui (2021) sobre "Digital Twins" (Gêmeos Digitais), indicam que a simulação de processos logísticos em ambientes virtuais, alimentados por dados em tempo real, permite testar estratégias de mitigação de riscos antes que as disrupções ocorram fisicamente. Isso sugere que o Business Analytics atua não apenas como ferramenta de otimização de custos, mas também como um mecanismo de proteção estrutural.

A mudança paradigmática imposta pelas abordagens analíticas redireciona a tomada de decisão de um espectro reativo para um espectro preditivo. Na prática logística, algoritmos de previsão de demanda baseados em séries temporais complexas e em *Machine Learning* tendem a apresentar menores taxas de erro absoluto médio do que as heurísticas baseadas em julgamento empírico. A literatura sugere que a antecipação de falhas e de gargalos logísticos confere à organização um tempo de resposta crucial para a realocação de rotas e o balanceamento de inventários.

Para o *middle-market*, que tipicamente opera com restrições orçamentárias mais rígidas do que as grandes multinacionais, o uso racional do Business Analytics representa uma alavanca estratégica. A alocação eficiente de recursos, guiada por modelos prescritivos, pode contribuir substancialmente para reduzir o capital de giro imobilizado em estoques de segurança excessivos. Assim, o Analytics configura-se como um elemento vital para a manutenção da competitividade em ambientes de alta incerteza.

3. A Sinergia Metodológica: Unindo Dados e Controle de Processos

A integração entre o Lean Six Sigma e o Business Analytics propõe um ecossistema metodológico em que a capacidade preditiva da ciência de dados é disciplinada pela estrutura de execução de processos. Enquanto o Analytics lida com a abstração matemática e a descoberta de conhecimento em bases de dados, o Lean Six Sigma atua na camada física, fornecendo protocolos claros para que os operadores implementem as mudanças recomendadas. A literatura

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

indica que essa simbiose mitiga o risco de investir em algoritmos que nunca saem da fase de protótipo.

Um dos pontos de interseção mais relevantes ocorre na fase "Analisar" do ciclo DMAIC. De acordo com Choi et al. (2022), a introdução de técnicas de *Machine Learning* nesta etapa permite a identificação de padrões complexos e de interações multivariadas que as ferramentas estatísticas tradicionais do Six Sigma dificilmente detectariam. O algoritmo pode avaliar simultaneamente milhares de parâmetros de temperatura e vibração, apontando a combinação exata de variáveis que tende a provocar um defeito produtivo.

Adicionalmente, na fase "Medir", a dependência de métodos de amostragem dá lugar à análise populacional completa. Em vez de aferir o desempenho de um processo com base em lotes específicos, a organização passa a mensurar a totalidade de sua produção contínua. Observa-se que essa densidade de dados fortalece a validade interna das análises estatísticas, reduzindo a margem de erro na identificação do desempenho da linha base (baseline) do processo logístico ou fabril.

A etapa de "Controle", frequentemente descrita como a mais desafiadora para a sustentação das melhorias a longo prazo, também é consideravelmente favorecida por essa sinergia. O uso de *dashboards* preditivos, acoplados a gráficos de controle estatísticos, permite o monitoramento contínuo das funções otimizadas. Estudos sugerem que alertas automatizados, gerados quando o algoritmo detecta uma tendência de desvio estatístico iminente, permitem que as equipes de manutenção atuem preventivamente, preservando a estabilidade alcançada.

Resulta dessa integração um *framework* dinâmico e retroalimentável. A intervenção guiada por dados não se encerra na entrega do painel de indicadores; é contínua e iterativa. Verificou-se que modelos analíticos, encapsulados na lógica do Lean, tendem a apresentar uma taxa de adoção mais elevada entre o corpo operacional, uma vez que as recomendações sistêmicas são imediatamente traduzidas em procedimentos operacionais padronizados e compreensíveis pela equipe de chão de fábrica.

4. Desafios, Limitações e Resistência Organizacional no Middle-Market

É imperativo salientar que a integração entre Business Analytics e Lean Six Sigma não constitui uma solução universal e infalível, pois apresenta diversas limitações práticas. A literatura demonstra que os custos associados à implementação de infraestruturas de dados e à manutenção de servidores na nuvem podem representar barreiras de entrada significativas para

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

as organizações de médio porte. O desafio reside em equilibrar o investimento tecnológico com o retorno financeiro esperado nos prazos curtos e médios.

Um dos obstáculos metodológicos mais severos é a qualidade estrutural das bases de dados. Kache e Seuring (2021) apontam que a fragmentação informacional e a prevalência de "silos de dados" comprometem diretamente a validade dos modelos analíticos. Se os algoritmos de *Machine Learning* forem treinados com dados imprecisos ou incompletos, os resultados gerados tenderão a ser enviesados, levando os gestores a intervenções processuais equivocadas, o que contraria os princípios de precisão do Six Sigma.

A resistência organizacional configura-se como outro fator crítico do insucesso dessas iniciativas. Waller e Fawcett (2022) discutem o conceito de aversão algorítmica, segundo o qual operadores e gestores de nível tático tendem a desconfiar das recomendações sistêmicas, preferindo confiar em suas heurísticas cognitivas e em experiências prévias. Constata-se que a introdução de painéis prescritivos, sem o devido acompanhamento da gestão de mudança, frequentemente resulta no abandono silencioso das novas tecnologias pela equipe operacional.

Aspectos éticos e de conformidade relacionados ao uso de Inteligência Artificial na gestão de processos também exigem reflexão cuidadosa. A utilização de algoritmos preditivos que atuam como "caixas-pretas" (black-box models), cuja lógica interna de decisão não é facilmente interpretável por humanos, pode conflitar com normas de rastreabilidade industrial e auditorias de qualidade. A literatura aponta a necessidade de desenvolver modelos analíticos explicáveis (XAI) para manter a transparência exigida em setores regulados.

Por fim, a escassez de profissionais que combinem proficiência em ciência de dados com profunda compreensão de engenharia de processos constitui uma barreira à escalabilidade do modelo. O *middle-market* compete com grandes corporações de tecnologia na atração de talentos analíticos, o que exige que essas organizações encontrem alternativas internas viáveis para desenvolver competências em suas equipes atuais, evitando a dependência excessiva de consultorias externas.

5. Capacitação Executiva e a Formação de uma Cultura Data-Driven

Para mitigar os desafios práticos mencionados, as organizações precisam investir na formação de uma cultura organizacional orientada a dados (*data-driven*). A literatura sugere que a mudança paradigmática do empirismo tático para o controle analítico não ocorre espontaneamente; requer o patrocínio explícito da alta administração. Quando a diretoria adota

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

métricas preditivas como base inegociável para a formulação do planejamento estratégico, o comportamento da base operacional tende a alinhar-se aos novos padrões de exigência.

O desenvolvimento da alfabetização em dados (*data literacy*) entre os gestores intermediários é apontado como um passo crucial. A capacitação executiva deve focar em desmistificar as ferramentas analíticas, habilitando as lideranças a interpretar adequadamente os intervalos de confiança, as margens de erro e os gráficos de dispersão gerados pelos modelos. Verifica-se que gerentes com sólidos fundamentos analíticos apresentam menor aversão algorítmica e maior propensão a integrar as diretrizes do sistema à rotina da equipe.

Uma abordagem frequentemente recomendada pela literatura em gestão de operações é a adoção de programas no formato "treinar o treinador" (*train-the-trainer*). Em vez de centralizar o conhecimento analítico em um único departamento isolado, a organização capacita multiplicadores internos, também conhecidos como *Black Belts* no jargão do Lean Six Sigma. Esses facilitadores atuam como tradutores, conectando os resultados complexos de Machine Learning à linguagem acessível dos operadores de linha e dos encarregados de logística.

O sucesso da implementação analítica no *middle-market* correlaciona-se, portanto, com a maturidade gerencial da organização. Estudos sugerem que empresas que investem simultaneamente no desenvolvimento tecnológico e no treinamento de capital humano tendem a superar a fase de desilusão associada a projetos de TI. A capacitação contínua assegura que os colaboradores não atuem de forma servil aos algoritmos, mas sim utilizem essas ferramentas como suporte para elevar o próprio raciocínio crítico sobre o processo.

Conclui-se, nesta etapa da discussão, que o diferencial competitivo duradouro não reside unicamente no algoritmo detido pela organização, mas também na forma disciplinada como o capital humano aplica os *insights* gerados para resolver problemas sistêmicos. Fomentar um ambiente em que o questionamento fundamentado em evidências suplante as intuições baseadas no histórico pessoal é o alicerce para que a integração entre Business Analytics e Lean Six Sigma gere retornos palpáveis e perenes.

Conclusão

A investigação conduzida neste artigo buscou explorar e discutir a viabilidade e os desafios da integração entre o Lean Six Sigma e o Business Analytics, com enfoque nas organizações do *middle-market*. A síntese da literatura analisada sugere que o emprego isolado de metodologias tradicionais de gestão da qualidade pode se mostrar lento diante da volatilidade das cadeias de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

suprimentos contemporâneas. Por outro lado, a implementação de sistemas preditivos sem a devida governança de processos frequentemente resulta em paralisia analítica. A integração de ambas as abordagens apresenta-se como um caminho teórico coerente para a otimização de operações em ambientes ricos em dados.

Constatou-se que a resiliência da cadeia de suprimentos e a eficiência dos processos fabris podem ser positivamente influenciadas quando o rigor do ciclo DMAIC é impulsionado por análises preditivas. O Business Analytics eleva as fases de medição e análise a um novo patamar de precisão estatística, enquanto o Lean Six Sigma fornece a estrutura mecânica para converter decisões algorítmicas em rotinas operacionais padronizadas.

Em termos de contribuição teórica, o artigo estabelece uma ponte interdisciplinar entre a Pesquisa Operacional e a Ciência de Dados, áreas que historicamente progrediram em vias paralelas. Ao destacar a complementaridade entre a melhoria contínua e a modelagem estatística preditiva, o texto reforça os achados recentes sobre o papel da inteligência artificial na manufatura enxuta e contextualiza o fenômeno da Indústria 4.0 sob uma perspectiva crítica.

No que tange às contribuições práticas, o trabalho oferece aos gestores do *middle-market* uma compreensão cautelosa sobre a adoção de tecnologias emergentes. Observou-se que a implementação bem-sucedida dessa integração tende a favorecer a redução dos custos de transporte, a melhoria da precisão do inventário e a mitigação de falhas por meio da manutenção preditiva, desde que seja suportada por um sólido plano de adequação infraestrutural.

É fundamental, contudo, reconhecer as limitações práticas abordadas. O sucesso do modelo depende da maturidade dos dados pré-existentes na organização; empresas com sérios problemas de qualidade em suas bases de dados (*silos informacionais*) encontrarão restrições substanciais para extrair valor das análises. Adicionalmente, as barreiras financeiras à implantação tecnológica representam um fator limitante real que deve ser ponderado em relação ao retorno sobre o investimento (ROI) projetado para o negócio.

As limitações organizacionais e éticas também impõem freios à adoção irrestrita da modelagem analítica. A literatura ressaltou a aversão algorítmica por parte dos operadores e os riscos associados à falta de interpretabilidade dos modelos preditivos. Esses fatores reforçam a importância de não negligenciar o lado sociotécnico das operações, evidenciando que a gestão da mudança cultural é tão crítica quanto a programação do próprio *software*.

Por fim, no que se refere a uma agenda de pesquisas futuras, sugere-se a condução de estudos empíricos e longitudinais que mensurem quantitativamente o impacto da adoção conjunta de Lean Six Sigma e Business Analytics no desempenho de empresas de médio porte ao longo do

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/10/2025 | aceito: 27/10/2025 | publicação: 02/11/2025

tempo. Além disso, a exploração de como Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) podem ser integrados para facilitar a interpretação de dados preditivos por gestores não técnicos apresenta-se como um campo fértil e pertinente para o avanço contínuo do conhecimento em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.

Referências

Choi, T. M., Kumar, S., Yue, X., & Chan, H. L. (2022). Disruptive technologies and operations management in the Industry 4.0 era and beyond. *Production and Operations Management*, 31(1), 9–31.

Christopher, M. (2021). *Logistics & supply chain management*. Pearson UK.

Dolgui, A., & Ivanov, D. (2021). Digital twins and supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 59(1), 1–5.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Fosso Wamba, S., Roubaud, D., & Foropon, C. (2023). Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience. *International Journal of Production Economics*, 217, 10–19.

Fosso Wamba, S., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2022). How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234–246.

Gunasekaran, A., Yusuf, Y. Y., Adeleye, E. O., & Papadopoulos, T. (2022). Agile manufacturing practices: the role of big data and business analytics with multiple case studies. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 385–397.

Ivanov, D. (2024). Supply chain resilience and digital transformation: a review. *Supply Chain Management: An International Journal*.

Kache, F., & Seuring, S. (2021). Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*.

Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2022). Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77–84.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.