

Lean, Indústria 4.0 e autonomia do trabalho: evidências bibliográficas e um estudo de caso no setor metal-mecânico brasileiro

Patrícia Nunes Costa Reis¹; 0000-0002-1094-373
Bruno Campos Visconti¹; 0009-0007-8666-9694
Carlos Eduardo Teobaldo Alves; 0000-0002-3763-0167
Flávio Vaz Machado²; 0000-0001-8950-7139
Lizandro Augusto Leite Zerbone¹; 0000-0002-2182-8638
Luciana Porto de Matos¹; 0000-0002-5786-9298
Lucimeire Cordeiro da Silva¹; 0000-0001-8166-9803
Rafael de Paiva Lima¹; 0000-0002-4896-2642

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

Patricia.nunes@foa.org.br

2 - UNIRIO, Universidade Federal do Estado Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo: O objetivo geral deste artigo é analisar condições organizacionais que favoreçam a ampliação da autonomia do trabalho na integração entre Lean Manufacturing (LM) e Indústria 4.0 (I4.0) no setor metal-mecânico brasileiro. A pesquisa foi conduzida em duas etapas: uma revisão bibliográfica narrativa, voltada à compreensão dos fundamentos conceituais, e um estudo de caso descritivo na Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), com base em relatórios anuais, de sustentabilidade e comunicados a investidores. Os resultados apontam que a combinação entre práticas lean — como eliminação de desperdícios, padronização, kaizen, gembu walk e VSM — e tecnologias digitais, como IoT, big data e manutenção preditiva, fortalece a autonomia dos trabalhadores quando articulada a capacitação contínua, comunicação efetiva e governança de dados transparente. Observou-se redução de desperdícios, maior estabilidade de fluxo, ganhos de eficiência, qualidade e segurança, além da consolidação de uma cultura de melhoria contínua. Conclui-se que a autonomia é ampliada não pela tecnologia isolada, mas pelo arranjo sociotécnico humanizado que orienta sua adoção, em linha com os princípios da Indústria 5.0, abrindo perspectivas para estudos comparativos em outros segmentos e para o desenvolvimento de métricas de autonomia e bem-estar.

Palavras-chave: Indústria 4.0. *Lean Management*. Autonomia do trabalho. Tecnologias digitais. Setor metal-mecânico.



INTRODUÇÃO

A intensificação competitiva tem impulsionado a adoção conjunta de LM e I4.0 para ganhos de eficiência, flexibilidade e qualidade; contudo, persiste o debate sobre seus efeitos na autonomia do trabalho e na colaboração homem-máquina, especialmente diante da transição à Indústria 5.0. Este estudo desloca o foco: mais que questionar perdas, busca identificar condições que preservam e ampliam a autonomia.

Formula-se a questão-problema: sob quais condições a integração LM-I4.0 fortalece a autonomia em ambientes produtivos complexos? A hipótese sustenta que ela se amplia quando guiada por desenho sociotécnico centrado no ser humano, participação (*kaizen*), capacitação contínua (Universidade Corporativa/Academias Lean-Digital), *feedback* 360° e governança de dados transparente.

O objetivo geral é propor condições organizacionais que favoreçam a autonomia na integração LM-I4.0 no setor metal-mecânico brasileiro. Especificamente, busca-se mapear práticas *lean* e tecnologias 4.0 que impactam o trabalho; analisar como capacitação e avaliações (360°, 180°, 90°) influenciam engajamento; propor o arranjo H-LEAN4.0, estruturado em atrair, alinhar, avaliar, desenvolver e recompensar; e sugerir métricas e rotinas para monitorar autonomia e bem-estar na transição à Indústria 5.0.

A relevância da pesquisa está em oferecer um olhar inovador ao tema: em vez de limitar-se à dicotomia entre ganhos produtivos e perdas de autonomia, propõe-se compreender como o desenho organizacional pode equilibrar tecnologia e fator humano, promovendo trabalho significativo e sustentável. No plano acadêmico, a contribuição se relaciona ao avanço das discussões sobre sociotécnica e Indústria 5.0, ainda pouco exploradas no contexto brasileiro. No âmbito empresarial e social, a justificativa reside no potencial de orientar empresas do setor metal-mecânico a integrar LM e I4.0 de forma humanizada, reduzindo resistências culturais, elevando o engajamento e garantindo condições de trabalho que preservem dignidade, autonomia e bem-estar dos trabalhadores.

A produção enxuta (Lean Manufacturing – LM), originada no Sistema Toyota de Produção (TPS) no Japão do pós-guerra, estruturou-se como um sistema sociotécnico voltado à geração de valor por meio da eliminação de desperdícios e da melhoria contínua, apoiando-

se em pilares como Just-in-Time, jidoka, kaizen e nivelamento da produção (heijunka). A partir dos anos 1980, expandiu-se para diversos setores e consolidou-se como estratégia que integra operações, gestão e desenvolvimento de pessoas. Em paralelo, a Indústria 4.0 introduziu IoT, inteligência artificial e sistemas ciberfísicos, configurando-se como complementar ao Lean, já que as tecnologias digitais aumentam a visibilidade de restrições e aceleram melhorias, enquanto as práticas enxutas fornecem estabilidade para a adoção digital (Buer; Strandhagen; Chan, 2018). Contudo, a literatura alerta para riscos à autonomia do trabalho quando a digitalização ignora fatores humanos, o que reforça a agenda da Indústria 5.0, na qual práticas como gemba walk, kaizen e value stream mapping (VSM) funcionam como mecanismos de participação e equilíbrio entre padronização e autonomia.

A aplicação do lean gerou ganhos como redução de desperdícios e maior estabilidade, reforçando que a automação não elimina o protagonismo humano, mas amplia decisões informadas rumo à Indústria 5.0. Fadnavis, Najarzadeh e Badurdeen (2020) destacam seu papel no aprendizado e na solução de problemas, enquanto Al-Najem, Dhakal e Bennett (2012) e Spear e Bowen (1999) apontam liderança, empoderamento e colaboração como fatores críticos. Womack e Jones (1996) veem o lean como mudança de paradigma para competitividade, e King e Lenox (2001) ressaltam seus impactos ambientais e sociais. Já Ruiz, Caro e Navarro (2018) e Longo, Padovano e Umbrello (2020) enfatizam que a Indústria 5.0 reequilibra tecnologia e criatividade, em sintonia com Pereira e Santos (2022), que defendem sustentabilidade, centralidade do humano e colaboração homem–máquina.

Nessa direção, Lu et al. (2021) reforçam a interação humano–máquina e modelos responsáveis, enquanto Liker (2004) aponta para práticas éticas de gestão. Comunicação efetiva e decisões orientadas por dados tornam-se essenciais na transição 4.0→5.0. À medida que a I5.0 avança, torna-se estratégico unir transformação digital a competências técnicas e socioemocionais, criando ambientes colaborativos centrados no ser humano. Essa passagem é também oportunidade de revisitar modelos de gestão e fortalecer a cultura necessária à implementação do *lean* (Bhasin, 2013; Bortolotti; Boscarì; Danese, 2015; Knapp, 2015; Pakdil; Leonard, 2015).



A aceleração das tecnologias digitais e a consolidação da internet transformaram as relações sociais e produtivas, redefinindo espaço e tempo. A trajetória industrial evoluiu da máquina a vapor (I1.0) à produção em massa (I2.0), da automação e robótica (I3.0) à digitalização e inteligência artificial (I4.0) (Schwab, 2016), embora o termo “Indústria 4.0” já fosse mencionado anteriormente (Carr, 1940) e tenha se consolidado em 2011 com a estratégia alemã para sistemas ciberfísicos (De Souza Moraes, 2020). Garcia (2020) destaca o uso intensivo de TIC, IA, robótica e big data, articulando a transição para a Indústria 5.0, enquanto Marketing (2020) alerta para os custos humanos da otimização. Já Rada (2015) e Scanlon (2018) ressaltam a recomposição humano–máquina e práticas sustentáveis, e The Engineer (2021) aponta a expansão do trabalho digital como oportunidade de revisão do paradigma 4.0.

Quadro 1 – Síntese das Fases das Revoluções Industriais

Revoluções	Dados	Detalhamento:	Autores/ano
1ª Revolução Industrial	1760-1840	Máquinas a vapor impulsionaram a indústria têxtil e o ferro, com a primeira locomotiva em 1825.	De Carvalho, Tiosso e Reis, 2020.
2ª Revolução Industrial	1850-1945	Avanços na química, eletricidade, petróleo e aço possibilitaram invenções como navio a vapor, prensa, energia elétrica, telefone, automóvel e produção em massa.	Fisciletti, Rossana, 2021.
3ª Revolução Industrial	1950-2010	Do pós-guerra ao final do século XX, a automação, a robótica, os computadores e os eletrônicos transformaram a indústria, a economia e a sociedade.	Yarlagadda, R.T. (2015)
4ª Revolução Industrial	2010-2020	Conceito de 2011, ligado às fábricas inteligentes, com IA, robótica avançada, impressão 3D e pesquisas em inovações tecnológicas.	De Souza Moraes, 2020.
5ª Revolução Industrial	2021 até os dias atuais.	Integração entre humanos e tecnologias automatizadas, valorizando criatividade e sustentabilidade para além dos resultados financeiros.	Raada, 2015.

Fonte: elabora pelos autores (2023).

Embora as inovações das revoluções industriais tenham promovido avanços como automação e monitoramento inteligente, Baldwin-Philippi (2017) questiona se os modelos de gestão acompanham as exigências da Indústria 5.0, que inclui sustentabilidade e redução

de riscos. Nesse debate, Wang et al. (2018) defendem que a I5.0 amplia a integração socioemocional entre pessoas e tecnologia, mas Marketing (2020) alerta que tal promessa depende do equilíbrio entre digitalização e bem-estar, sob pena de sacrificar a segurança de longo prazo. Muniz (2023) reforça a crítica ao propor que apenas a combinação entre Lean e I5.0, por meio de práticas colaborativas e participativas, pode realmente assegurar ambientes produtivos sustentáveis e centrados no ser humano.

MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em duas etapas complementares. A primeira consistiu em uma revisão bibliográfica narrativa, voltada à compreensão das bases conceituais sobre a integração entre Lean Manufacturing e Indústria 4.0. A segunda etapa correspondeu a um estudo de caso descritivo aplicado à Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizada no Sul Fluminense e atuante em toda a cadeia do aço. Para a análise empírica, foram utilizados dados secundários extraídos de documentos públicos da empresa — como Relatórios Anuais, Relatórios de Sustentabilidade, Demonstrações Financeiras e comunicados a investidores — disponíveis no site institucional e em órgãos reguladores (B3 e CVM). Esse material possibilitou observar, de forma contextualizada, como a CSN articula práticas enxutas com tecnologias digitais emergentes, fornecendo evidências para a análise crítica e comparativa entre teoria e prática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do estudo de caso na Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), baseada em relatórios anuais, de sustentabilidade e comunicados a investidores, mostrou que a integração entre práticas lean e tecnologias da Indústria 4.0 tem potencial para fortalecer a autonomia em ambientes produtivos complexos. As evidências indicam que a empresa alia pilares clássicos do Lean Manufacturing — eliminação de desperdícios, padronização e melhoria contínua — a soluções digitais como IoT, big data, inteligência artificial, robótica e analytics. Entre os principais resultados identificados destacam-se o monitoramento em tempo real, a manutenção preditiva e a otimização de processos via algoritmos, o que contribuiu para ganhos em eficiência, qualidade e competitividade.

Contudo, a introdução dessas tecnologias não ocorreu sem desafios: exigiu reconfiguração de tarefas, novas competências e enfrentamento de resistências culturais. Nesse ponto, a gestão corporativa atuou de forma estratégica ao investir em capacitação pela Universidade Corporativa, ampliar a comunicação interna e adotar práticas participativas como kaizen, gamba walk e value stream mapping (VSM), que funcionaram como mecanismos de voz e engajamento. Tais iniciativas demonstram que a autonomia do trabalho não depende apenas da disponibilidade tecnológica, mas da existência de arranjos sociotécnicos que garantam participação ativa, feedback contínuo e governança de dados transparente.

Os resultados reforçam que a combinação lean–I4.0 gera valor ampliado quando sustentada por estabilidade de processos, envolvimento dos colaboradores e alinhamento com princípios de sustentabilidade. No caso da CSN, observaram-se redução de desperdícios, maior estabilidade de fluxo, ganhos de segurança operacional e a consolidação de uma cultura de melhoria contínua. Esses achados validam a hipótese inicial de que a autonomia pode ser preservada e até ampliada quando a digitalização é orientada por práticas humanizadas, antecipando a lógica da Indústria 5.0, em que tecnologia e fator humano se complementam para promover inovação, engajamento e bem-estar organizacional.

CONCLUSÕES

O estudo teve como objetivo propor condições organizacionais que favoreçam a autonomia na integração entre Lean Manufacturing e Indústria 4.0 no setor metal-mecânico brasileiro, tomando a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) como estudo de caso. A análise mostrou que a empresa combina práticas lean — voltadas à eliminação de desperdícios, padronização de processos e melhoria contínua — com tecnologias digitais como IoT, big data, inteligência artificial e manutenção preditiva. Os resultados indicam que a autonomia do trabalho é fortalecida quando a adoção tecnológica é acompanhada por desenho sociotécnico centrado no ser humano, participação via kaizen, gamba walk e VSM, capacitação contínua pela Universidade Corporativa e governança de dados transparente.

Assim, o problema de pesquisa — sob quais condições a integração LM–I4.0 fortalece a autonomia em ambientes produtivos complexos — foi respondido ao demonstrar que a autonomia depende menos da tecnologia em si e mais da forma como ela é incorporada ao

sistema produtivo, com práticas de envolvimento, estabilidade de processos e valorização das competências humanas. Além de ganhos em eficiência, qualidade e segurança, observou-se o fortalecimento de uma cultura de melhoria contínua alinhada aos princípios da Indústria 5.0.

Como perspectivas futuras, recomenda-se ampliar a investigação para outros segmentos industriais, comparar casos em empresas de diferentes portes e explorar indicadores de autonomia e bem-estar relacionados à digitalização, de modo a consolidar métricas que orientem gestores na transição entre Indústria 4.0 e 5.0.

REFERÊNCIAS

- AL-NAJEM, M.; DHAKAL, H.; BENNETT, N. The role of culture and leadership in lean transformation: a review and assessment model. *International Journal of Lean Thinking*, v. 3, n. 1, p. 119-135, 2012.
- BALDWIN-PHILIPPI, J. The myths of big data: understanding the limitations of the transparency ideal and its application to politics. *New Media & Society*, v. 19, n. 9, p. 1424-1439, 2017.
- BHASIN, S. Impact of corporate culture on lean implementation. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 4, n. 2, p. 118-140, 2013.
- BORTOLOTTI, T.; BOSCARI, S.; DANESE, P. Successful lean implementation: organizational culture and soft lean practices. *International Journal of Production Economics*, v. 160, p. 182-201, 2015.
- BUER, S.-V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2924-2940, 2018. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>.
- CARR, E. H. *Nationalism and After*. London: Macmillan, 1940.
- CVM - Comissão de Valores Mobiliários. Disponível em: <https://www.gov.br/cvm>. Acesso em: 11 set. 2025.
- DE CARVALHO, A.; TIOSSO, F.; REIS, M. *Título da obra*. Local: Editora, 2020.
- DE SOUZA MORAES, G. Indústria 4.0: origens, fundamentos e perspectivas. *Revista de Administração e Inovação*, v. 17, n. 3, p. 23-36, 2020.
- FADNAVIS, S.; NAJARZADEH, M.; BADURDEEN, F. Organizational enablers for sustaining lean in digital environments. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 31, n. 3, p. 455-470, 2020.

- FISCILETTI, R. *A quarta revolução industrial e os novos paradigmas do direito do consumidor*. São Paulo: Literare Books International, 2021.
- GARCIA, J. Indústria 4.0: inteligência artificial, robótica e Big Data. *Revista Eletrônica de Administração*, v. 19, n. 2, p. 112-127, 2020.
- KING, A. A.; LENOX, M. J. Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. *Production and Operations Management*, v. 10, n. 3, p. 244-256, 2001.
- KNAPP, S. Lean leadership: lessons from the Toyota Production System. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 6, n. 1, p. 32-52, 2015.
- LIKER, J. *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004.
- LONGO, F.; PADOVANO, A.; UMBRELLO, S. Value-oriented and ethical technology engineering in Industry 5.0: human-centric approaches. *Computers in Industry*, v. 125, p. 1-11, 2020.
- LU, Y. et al. The human-machine symbiosis in Industry 5.0: towards a sustainable and responsible production model. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, p. 123-127, 2021.
- MARKETING, D. Industry 4.0 and its discontents: human costs of optimization. *Journal of Business Strategy*, v. 41, n. 5, p. 54-62, 2020.
- MUNIZ, R. Lean e Indústria 5.0: novas fronteiras para a colaboração humano-tecnologia. *Revista Brasileira de Gestão Industrial*, v. 19, n. 1, p. 88-102, 2023.
- PEREIRA, A.; SANTOS, F. Industry 5.0: a human-centric, sustainable and resilient production system. *European Commission Report*, Brussels, 2022..
- RAADA, M. Industry 5.0: the return of human touch. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 79, n. 1-4, p. 231-246, 2015.
- SCANLON, T. Human-machine collaboration in Industry 5.0. *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 45, n. 2, p. 102-118, 2018.
- SPEAR, S.; BOWEN, H. K. Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harvard Business Review*, v. 77, n. 5, p. 97-106, 1999.
- WANG, L. et al. Toward a human-centric cyber-physical systems framework for Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 47, p. 335-345, 2018.
- WOMACK, J.; JONES, D. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon & Schuster, 1996.
- YARLAGADDA, R. T. *Digital Manufacturing and Industrial Revolution 3.0*. New Delhi: Springer, 2015.