

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MONITORAMENTO INTELIGENTE PARA
CONTROLE DE QUALIDADE INDUSTRIAL USANDO INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL E INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS**

**ANALYSIS OF THE INTELLIGENT MONITORING SYSTEM FOR INDUSTRIAL
QUALITY CONTROL USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND STATISTICAL
INFERENCES**

Gabriel de Melo Scachetti – gabimelocache@gmail.com
Faculdade de Tecnologia - FATEC - Taquaritinga - São Paulo – Brasil

Diego José Casagrande – diego.casagrande@fatectq.edu.br
Faculdade de Tecnologia - FATEC - Taquaritinga - São Paulo – Brasil

DOI: 10.31510/infa.v22i2.2361

Data de submissão: 26/09/2025

Data do aceite: 02/12/2025

Data da publicação: 20/12/2025

RESUMO

Com a intensificação da digitalização dos processos industriais e a alta demanda por eficiência e rastreabilidade, tornou-se indispensável o uso de tecnologias avançadas capazes de elevar os padrões de qualidade na produção. Nesse sentido, o sistema de Monitoramento Inteligente para Controle de Qualidade (SMICQ) surgiu como uma alternativa estratégica, ao integrar Inteligência Artificial, Internet das Coisas (IoT) e métodos estatísticos preditivos. Essa necessidade se revelou ainda mais palpável perante o incremento da complexidade produtiva e da pressão por redução de falhas, desperdícios e custos operacionais. Com isso, verifica-se que a capacidade de acompanhar variáveis em tempo real fortalece a confiabilidade dos processos e garante maior aderência às normas de qualidade e competitividade em alta escala. Desse modo, o presente estudo foi desenvolvido com base em evidências práticas e no levantamento bibliográfico da área, reunindo contribuições de pesquisas científicas, relatórios técnicos e aplicações industriais já consolidadas. No decorrer deste artigo, são discutidos aspectos como o funcionamento do SMICQ, suas vantagens em comparação aos métodos tradicionais de inspeção, bem como os impactos da sua adoção no contexto da Indústria 4.0. Por conseguinte, com a pesquisa, evidencia-se o papel do SMICQ como solução tecnológica, destaca-se seu potencial estratégico na transformação digital da indústria e na construção de processos produtivos mais autônomos, precisos e sustentáveis.

Palavras-chave: Sistema de Monitoramento Inteligente. Controle de Qualidade. Inteligência Artificial. IoT. Estatística Preditiva.

ABSTRACT

With the intensification of the digitalization of industrial processes and the high demand for efficiency and traceability, the use of advanced technologies capable of raising quality standards in production become indispensable. In this sense, the Intelligent Monitoring System for Quality Control (SMICQ) emerged as a strategic alternative, integrating Artificial Intelligence, the Internet of Things (IoT), and predictive statistical methods. This need became even more evident in light of the increasing complexity production and the pressure to reduce failures, waste, and operational costs. This demonstrates that the ability to monitor variables in real time strengthens process reliability and ensures greater compliance with quality standards and competitiveness on a large scale. Thus, the present study was developed based on practical evidence and a and a literature review of the area, bringing together contributions from scientific research, technical reports, and already consolidated industrial applications. Throughout this article, aspects such as the operation of SMICQ, its advantages compared to traditional inspection methods, and the impacts of its adoption in the context of Industry 4.0, are discussed. Therefore, the research highlights role of SMICQ as a technological solution, emphasizing its strategic potential in the digital transformation of industry and in the construction of more autonomous, precise, and sustainable production processes.

Keywords: Intelligent Monitoring System. Quality Control. Artificial Intelligence. IoT. Predictive Statistics.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da busca por qualidade, eficiência operacional e rastreabilidade está acelerando a transformação digital em todas as indústrias. Diante desse cenário, a Indústria 4.0 surgiu como um novo modelo de produção, caracterizado pela integração de tecnologias como a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT) e a análise estatística preditiva. Nessa perspectiva, a integração dessas tecnologias tem motivado a criação de sistemas inteligentes com o propósito de monitorar variáveis essenciais do processo, detectar anomalias, prevenir falhas e apoiar decisões estratégicas em tempo real e que resulta na

diminuição de perdas causadas por paradas não programadas, defeitos de qualidade e intervenções corretivas.

Nesse sentido, Lee (2018) enfatiza que a aplicação de sistemas ciberfísicos inteligentes, assim como a análise de big data na manufatura avançada são cruciais para a automação do controle de qualidade. Tais atividades resultam em ambientes de produção mais autônomos, flexíveis e resilientes.

Contudo, apesar do avanço tecnológico, observa-se que os métodos tradicionais de controle de qualidade ainda são limitados, por se fundamentarem na interpretação humana e em amostras periódicas, as quais resultam em atrasos na detecção de falhas, altas chances de retrabalho, além de intensificar os custos. Na eventualidade de grandes projetos, o seguimento administrativo se torna ainda mais complexo, tornando-se indispensáveis as soluções inteligentes que realizam análises contínuas e com alta precisão. Em síntese, a questão é: Como a ação de um sistema de controle de qualidade, sustentado por análise estatística preditiva e inteligência artificial, pode ajudar a advertir falhas críticas e minimizar o retrabalho na indústria?

A saída para este desafio encontra-se na implementação de sistemas de monitoramento inteligentes que integrem sensores IoT, algoritmos de aprendizado de máquina e gráficos de controle assistidos por IA, a fim de criar um fluxo contínuo de coleta, análise e interpretação de dados. Com isso, é possível precipitar os problemas para verificá-los antes que se tornem reais; diminuir a ocorrência de falhas; aprimorar a tomada de decisões e elevar os padrões de qualidade. Como destaca Maciel (2023), o conceito de Qualidade 4.0 está intimamente relacionado à aplicação de altas tecnologias para o monitoramento em tempo real, análise de dados, manutenção preditiva e automação nos processos de avaliação.

Assim, este trabalho se propõe a investigar e aprofundar no Sistema de Monitoramento Inteligente para Controle de Qualidade (SMICQ), que se baseia na combinação de estatística avançada, inteligência artificial e IoT (Internet das Coisas), visando aumentar a confiabilidade dos processos produtivos, melhorar a eficiência operacional e manter a competitividade das empresas industriais frente às exigências da Indústria 4.0.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A intrincada teia dos processos produtivos, aliada à incessante busca pela excelência operacional, tem direcionado a adoção de sistemas inteligentes de controle de qualidade no setor industrial. Nesse contexto, a Indústria 4.0 se apresenta como um modelo imprescindível para a digitalização e a automação dos processos produtivos, interligando tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e análise de dados em tempo real. Pereira (2022) afirma que a Indústria 4.0 oferece um ambiente favorável ao desenvolvimento de sistemas que podem monitorar, diagnosticar e corrigir falhas de forma autônoma, melhorando a confiabilidade e a eficiência dos processos.

Sistemas inteligentes de monitoramento em suporte da IA têm demonstrado, mesmo em fase inicial, um alto potencial para captar falhas e desvios de qualidade. Como afirma Zhang (2021), algoritmos de aprendizado de máquina em análise preditiva não só detectam anomalias mas também identificam problemas antes que afetem a produção, o que minimiza custos com retrabalho e manutenção que visam realizar correções. Ligado a esses avanços, a análise estatística permanece crucial no acompanhamento de processos, mas, com a IA, ampliou significativamente, pois os sistemas inteligentes aprendem com os dados e se adequam a diversos cenários de operação. Conforme ressaltam Silva e Oliveira (2022), a convergência de métodos estatísticos com algoritmos de IA potencializa a detecção de padrões complexos, perquirindo a perfeição nas avaliações de qualidade e aprovando intervenções rápidas e eficazes.

Estudos de caso evidenciam a eficácia dos sistemas inteligentes no controle de qualidade. Conforme revelaram Wang, Li e Chen (2023), a adoção de um sistema de IA em uma linha de montagem de automóveis diminuiu o tempo de resposta a falhas em 40% e cortou o índice de rejeição em 25%. Em um contexto não invasivo, na indústria siderúrgica, Straat et al (2022) mencionaram a aplicação de sensores eletromagnéticos em conjunto com algoritmos de aprendizado de máquina, o que resultou em um F3-score de 0,95 na previsão de conformidade do aço, além de uma diminuição nos riscos operacionais. No setor automotivo, a Tata Elxsi (2023) criou um sistema de visão computacional e aprendizado profundo que identifica microdefeitos em rolamentos e engrenagens, o que resultou em uma redução de 50% nas falhas, um aumento de 35% na eficiência operacional e uma diminuição de 25% nos custos de inspeção.

Outras indústrias também têm utilizado essas tecnologias. Ahmed, Ali e Khan (2021) mencionaram como a combinação da estatística preditiva com IoT, em linhas de montagem,

permitiu identificar padrões de falhas precoces em equipamentos, reduzindo em 40% o tempo de inatividade não programada. Em termos de indústria farmacêutica, Santos, Lima e Rodrigues (2020) mostraram como a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), aliada a algoritmos de regressão multivariada, pode ser utilizada para verificar a homogeneidade da mistura de comprimidos, aumentando a segurança e diminuindo a ocorrência de lotes fora das especificações. Os achados ressaltam que a intersecção entre IA, análise estatística e IoT é uma abordagem poderosa para aprimorar os padrões de qualidade na indústria e aumentar a competitividade.

O controle de qualidade visa reduzir oscilações e desperdícios, assegurando que os produtos estejam em abono com as normas e especificações. Métodos tradicionais, como Six Sigma e os gráficos de Controle Estatístico de Processo (SPC), são aproveitados, porém, possuem limitações, já que derivam vigorosamente da análise manual dos dados e da disposição dos operadores. Essa restrição cria oportunidades para realizar soluções digitais que automatizem a corroboração dos processos produtivos antecipando a resposta aos desvios.

A unificação da Inteligência Artificial com a Internet das Coisas promoveu novas oportunidades para o monitoramento industrial. Os sensores afiliados capturam dados em tempo real, possibilitando que algoritmos de aprendizado de máquina reconheçam padrões de falhas e realizem mudanças automáticas. Assim, é possível evitar que o erro aconteça, o que resulta em maior previsibilidade, reprimindo o desperdício e possibilitando a manutenção preditiva, tornando os processos mais compactos e flexíveis.

A vidência de falhas e o controle de qualidade são profundamente fundamentados na estatística. Com ferramentas como a regressão multivariada, redes neurais e análise de capacidade do processo, permite-se esquematizar variáveis produtivas e prever falhas. Com esses diagnósticos antecipados, desvios pequenos não se desenvolvem em problemas maiores, convertendo-se em uma constância produtiva maior e uma melhor segurança na entrega dos produtos dentro das especificações de qualidade necessárias.

2.1 Comparação do SMICQ com o controle de qualidade tradicional

O SMICQ se diferencia dos métodos tradicionais, sobretudo no modo como a informação é elaborada, analisada e aplicada. Diferentemente do modelo tradicional, que se constitui em inspeções visuais, registros manuais e análises estatísticas periódicas, o SMICQ

usa uma abordagem automatizada e contínua, sustentada por sensores de IoT e algoritmos de aprendizado de máquina. Essa característica possibilita que qualquer desvio seja detectado e corrigido logo no princípio do processo. Com isso, diminui-se significativamente o risco de que produtos não conformes prossigam pela cadeia produtiva.

No controle de qualidade tradicional, a frequência e a cobertura das análises são limitações significativas. Frequentemente, os testes são realizados de forma amostral, o que pode resultar na não detecção de falhas. A interpretação dos dados também depende da experiência e da atenção dos operadores, o que pode levar a vieses ou demora nas respostas. O SMICQ, por sua vez, funciona de maneira independente e em tempo real, reduzindo a subjetividade humana e tornando a decisão muito mais rápida. Por exemplo, Romero e Suyama (2024) ilustram a importância de assegurar a qualidade em tempo real para dados de Internet das Coisas (IoT) com o auxílio de aprendizado de máquina, evidenciando ainda mais o valor dessa estratégia.

Outro aspecto que os difere é a rastreabilidade. Nos sistemas convencionais, a corroboração dos dados é fracionada, dificultando a realização de históricos específicos sobre o desempenho de cada etapa da produção. O SMICQ, por sua vez, coleta de forma contínua dados cruciais e os estabelece em relatórios arquitetados, concedendo mais transparência, uniformidade e suporte para auditorias ou certificações de qualidade. Essa modificação de paradigma, atualiza o controle de qualidade, além de potencializar os benefícios estratégicos. Diferentemente do modelo tradicional, que identifica falhas após a ocorrência, o sistema abordado tem uma chegada preventiva, apontando problemas antes que ocorram e reduzindo desperdícios. Assim, a indústria se transforma, uma vez que de uma atividade reativa, passa ter uma postura preditiva, fundamentada em dados, e em paridade com os requisitos da Indústria 4.0.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo foi conduzido de maneira aplicada e exploratória, visando à idealização e ao desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Monitoramento para Controle de Qualidade (SMICQ), que combina algoritmos de Inteligência Artificial (IA) com técnicas estatísticas para a prevenção de falhas e a promoção do aprimoramento contínuo em processos industriais. Para validar a viabilidade da proposta, foram estudados casos reais de uso de

tecnologias similares em ambientes industriais, além disso, buscou-se entender padrões, estratégias e resultados em contextos em que se faz uso da integração entre sensores industriais, redes neurais artificiais e análise de dados em tempo real. Foi conduzida uma revisão sistemática da literatura em livros, artigos científicos e relatórios técnicos referentes ao tema, bem como a análise de casos reais, com o intuito de reunir fundamentos teóricos e evidências empíricas que sustentassem o aprofundamento do modelo proposto. A construção do conhecimento em várias áreas do saber é amplamente reconhecida nessa metodologia de pesquisa, conforme apontado por Gil (2010), na obra intitulada "Métodos e técnicas de pesquisa social".

Esse levantamento possibilitou a identificação de conceitos-chave, metodologias estabelecidas e áreas de conhecimento que carecem de desenvolvimento, além de fundamentar a comparação entre as práticas tradicionais de controle de qualidade e as abordagens inteligentes que se apoiam em IA e em métodos estatísticos. Para reforçar essa abordagem, podemos citar a análise estatística e a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para o controle de qualidade industrial, como fora apontado por Silva e Menezes (2020).

4 DISCUSSÃO

Com base na análise desenvolvida neste trabalho, verificou-se que a implantação do Sistema de Monitoramento Inteligente para Controle de Qualidade (SMICQ) é um avanço considerável em relação ao existente. Diferente do controle tradicional, que geralmente detecta problemas apenas após eles acontecerem, o SMICQ se antecipa e previne, visto que monitora os processos de forma contínua e identifica desvios antes que se tornem falhas. Essa transição de uma postura reativa para uma proativa ajuda a diminuir desperdícios, aumentar a confiabilidade das operações e melhorar a eficiência na produção.

O retorno adquirido em diversos setores industriais demonstra a adaptabilidade do sistema. No setor automotivo, na indústria siderúrgica e, em fábricas farmacêuticas, por exemplo, a inserção de tecnologias de Inteligência Artificial com sensores e análises estatísticas adquiriu desempenho com taxas de rejeições inferiores, períodos de reações ágeis a anormalidades e, padrões de qualidade elevados. Esses avanços expõem que a combinação

de dados em tempo real e algoritmos inteligentes não só instiga o processo decisório como também concede maior segurança e permanência aos processos.

Outro atributo destaque é a rastreabilidade. O SMICQ, ao documentar e sistematizar informações de forma contínua, atribui mais clareza e padronização, ocasionando a gestão de processos mais simples e o atendimento a normas e certificações de qualidade. Esse diferenciador permite que as indústrias descubram, com mais precisão, as causas das falhas, facilitando a efetivação de ações corretivas mais focadas e com soluções que se sustentam no tempo.

Contudo, é preciso destacar os desafios que a implantação do sistema pode trazer. Além disso, os custos iniciais, a integração com sistemas existentes e a necessidade de treinamento de profissionais podem ser desafios a curto prazo. Entretanto, se os contratempos enfrentados são comparáveis a uma tempestade, eles não se aproximam nem de longe dos ganhos estratégicos e sustentáveis que uma gestão adequada de recursos, assim como a adoção gradual de soluções digitais podem trazer.

A discussão, portanto, evidencia que o SMICQ não pode ser visto apenas como uma tecnologia, mas sim como um componente estratégico na estrutura da Indústria 4.0. A sua capacidade de tornar o controle de qualidade um processo mais inteligente, automatizado e confiável é um fator que pode diferenciar as empresas que buscam a excelência operacional e se adaptam às exigências de um mercado em constante mudança e cada vez mais globalizado.

5 CONCLUSÃO

Por conseguinte, no decorrer deste artigo, foi possível entender que o sistema estudado, visando a qualidade na produção, vai mais adiante do que uma inovação tecnológica. Ele pode ser compreendido como uma modificação no modo com o qual as indústrias gerenciam a qualidade de seus processos. A junção da Inteligência Artificial, Internet das Coisas e técnicas estatísticas, de acordo com a pesquisa, eleva a eficácia na identificação preliminar de falhas, resultando em economia de custos e maior confiança nas operações. A análise ainda revela que o SMICQ é apto a se tornar uma solução estratégica em diversos setores industriais, provando que torna os processos mais previsíveis, rastreáveis e eficientes. Entretanto, para que isso ocorra, é de suma importância investir em tecnologia e

treinamento, o que aponta para a importância de um planejamento minucioso, a fim de assegurar que todos os benefícios sejam, de fato, aproveitados.

Outro aspecto que despertou a atenção com o desenvolvimento da pesquisa foi a constatação de que os métodos convencionais, embora ainda utilizados por diversas empresas, não conseguem mais atender, com a mesma eficácia, às exigências de um mercado em constante evolução e competição. A adoção de sistemas inteligentes parece ser um caminho sem volta, especialmente para empresas que desejam se integrar à lógica da Indústria 4.0 e operar de forma mais sustentável. Este é um setor que está sempre em modificação e entender como essas tecnologias podem ser ajustadas e expandidas certamente ajudará a ter uma visão mais abrangente da indústria do futuro.

REFERÊNCIAS

AHMED, N., ALI, S., & KHAN, M. Predictive Maintenance in Smart Manufacturing Using IoT and Machine Learning. **Computers in Industry**, 129, 103–119. 2021.

GIL, ANTONIO CARLOS. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LEE, JAY; BAGHERI, BEHRAD; KAO, HUNG-AN. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18-23, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>. Acesso em: 22 de maio de 2025.

MACIEL, J. O., SILVA, L. B. P., TREINTA, F. T., & PONTES, J. Qualidade no contexto da Indústria 4.0. **Canais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 2023. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_ST_402_1976_46575.pdf. Acesso em: 22 de maio de 2025.

OLIVEIRA, T. M. Big Data no controle de qualidade industrial. **Revista Brasileira de Tecnologia**, v. 10, n. 5, p. 112-125, 2021.

PEREIRA, A. F., SANTOS, M. R., & LIMA, J. P. Aplicações da Indústria 4.0 no monitoramento inteligente da produção industrial. **Revista de Engenharia de Produção**, 12(3), 45-58. 2022.

PEREIRA, R. G.; ARAÚJO, J. F. Uso de IoT e IA no monitoramento de processos produtivos: Desafios e oportunidades. **Congresso Brasileiro de Automatização Industrial**, 2022, São Paulo: SBA, 2022. p. 102-118.

ROMERO, M. L.; SUYAMA, R. Garantia de qualidade em tempo real de dados de Internet das Coisas via aprendizado de máquina. **Canais do XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais**, 2024. Disponível em: <https://www.ufabc.edu.br/divulgacao-cientifica/artigos/garantia-de-qualidade-em-tempo-real-de-dados-de-internet-das-coisas-via-aprendizado-de-maquina>. Acesso em: 24 abr. 2025.

SANTOS, M. C.; LIMA, A. F.; RODRIGUES, J. P. Real-Time Quality Monitoring in Pharmaceutical Production Using NIR Spectroscopy and Multivariate Analysis. **Journal of Quality in Pharmaceutical Sciences**, 25(3), 135–144. 2020.

SILVA, E. P.; MENEZES, M. C. Análise estatística e algoritmos de aprendizado de máquina no controle de qualidade industrial. **Jornal de Engenharia Industrial**, v. 15, n. 3, p. 34-47, 2020.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, M. L. A evolução do controle de qualidade na era da Indústria 4.0. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 45-60, 2022.

SILVA, R. M., & OLIVEIRA, F. L. Integração de inteligência artificial e estatística para aprimoramento do controle de qualidade industrial. **Revista Brasileira de Controle de Qualidade**, 10(1), 89-102. 2022.

STRAAT, L.; LEE, H.; PALMER, T.; DECKERS, J.; VERSTEEG, G. **Real-Time Prediction of Mechanical Properties in Steel Manufacturing Using AI**. arXiv, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2206.05818>. Acesso em: 22 maio 2025.

TATA ELXSI. **AI for manufacturing quality control and efficiency: Case study**. 2023. Disponível em: <https://asset.tataelxsi.com/ai-for-manufacturing-quality-control-and-efficiency-casestudy>. Acesso em: 22 maio 2025.

WANG, X., LI, Z., & CHEN, J. Implementation of AI-based intelligent monitoring system for quality control in automotive manufacturing. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 127(5), 1235-1249. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11234-5>. Acesso em: 25 mai. 2025.

ZHANG, L., CHEN, Y., & WANG, H. Machine learning for predictive quality control in manufacturing systems: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, 58, 135-148. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.10.004>. Acesso em: 25 mai. 2025.