



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE PRÉ-AJUSTAGEM DE FERRAMENTAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Ivan Correr

Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP

Rafael Oliveira de Paschoal

Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP

Alexandre Tadeu Simon

Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP

Resumo: A globalização e a forte concorrência fazem com que as empresas busquem investir cada vez mais em tecnologias que diminuam os tempos improdutivo dos seus ciclos de produção. Dentro do contexto da quarta revolução industrial, um dos conceitos que se destaca é o dos sistemas de manufatura inteligente, que conectam equipamentos, dispositivos e pessoas de modo a atingir a máxima eficiência produtiva. Um dos principais equipamentos e dispositivos que possibilitam o estabelecimento de um sistema de manufatura inteligente são as tecnologias CNC aplicadas às máquinas-ferramenta, o que cria oportunidades de pesquisa sobre a aplicação dos sistemas físico-cibernéticos nas indústrias. Tendo isso em mente, o presente artigo visa identificar novas funções a serem desempenhadas pelos sistemas automáticos de pré-ajustagem de ferramentas através das características de um CPS, assim como as principais integrações que seriam geradas dentro de uma fábrica pela utilização dos dispositivos conectados à sistemas em rede. Como resultado, são apresentadas novas funções a serem desempenhadas pelos sistemas automáticos de pré-ajustagem de ferramentas, assim como as principais integrações que seriam geradas dentro de uma fábrica pela utilização dos dispositivos conectados à sistemas de rede.

Palavras-chave: Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS), Pré-Ajustagem de Ferramentas, CNC, Manufatura Inteligente, Indústria 4.0.

Tool Presetting Systems in the Context of Industry 4.0

Abstract: The globalization and strong competition make companies invest more and more in technologies that helps them reduce the unproductive times of their production cycles. Within the context of the fourth industrial revolution, one of the concepts that stands out is the intelligent manufacturing systems, connecting equipment, devices and people in order to achieve maximum productive efficiency. One of the main instruments that enable the establishment of an intelligent manufacturing system are CNC technologies applied to machine tools, which creates opportunities on the application of cyber-physical systems in industries. With this in mind, this article aims to identify new functions to be performed by automatic tool presetting systems through the characteristics of a CPS, as well as the main integrations that would be generated within a factory through the use of devices connected to systems networked. As a result, new functions are

presented to be performed by the automatic tool-setting systems, as well as the main integrations that would be generated within a factory by the use of devices connected to network systems.

Keywords: Cyber-Physical Systems (CPS), Tool Presetting, CNC, Smart Manufacturing, Industry 4.0.

1. Introdução

A quarta revolução industrial representa uma ruptura dos processos produtivos centralizados para os descentralizados, confiando na automação baseada em sistemas físico-cibernéticos, em que sensores enviam dados diretamente para a nuvem e atividades como monitoramento, controle e otimização passam a ser realizadas automaticamente com a coleta em tempo real dos dados necessários. (KUMAR et al., 2019).

Neste contexto, tecnologias como os Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS), Internet das Coisas (IoT) e Computação em Nuvem (*Cloud Computing*), visam conectar máquinas, serviços e pessoas em tempo real, possibilitando a troca e gestão de informações e permitindo que processos de produção e negócios sejam combinados. (SANTOS et al., 2018; STOCK et al., 2018).

A Indústria 4.0 permite a utilização de todas estas tecnologias de maneira sincronizada, tendo como principal processo a conversão entre dados físicos e digitais dentro de um sistema de fabricação reconfigurável. (ROJKO, 2017; DINARDO et al., 2018; SANGHAVI et al., 2019).

Este novo paradigma de produção está baseado nos conceitos de fabricação avançada, ou também chamados de fabricação inteligente, sistemas flexíveis capazes de ajustarem automaticamente os processos de produção para vários tipos de produtos, condições e mudanças exigidas. (WANG et al., 2016).

Um dos principais meios para o estabelecimento de um sistema de manufatura inteligente são as tecnologias CNC aplicadas às máquinas-ferramenta. Nunes e Borsato (2015), apresentam estudos sobre o desenvolvimento de sensores e dispositivos inteligentes que permitem a conexão de máquinas e interação de dados, o que cria oportunidades de pesquisa sobre a aplicação dos sistemas físico-cibernéticos na manufatura.

Parte importante no processo de usinagem está relacionada as operações de *setup*. Segundo Simon (2002), uma parcela significativa do tempo de preparação de máquinas ferramentas é consumida na ajustagem das ferramentas, o que eleva o tempo improdutivo do equipamento, comprometendo assim a eficiência e competitividade de seus processos.

Os atuais sistemas de pré-ajustagem de ferramentas já permitem a execução automática de pré-ajustagem, monitoramento de desgaste e detecção de quebra de ferramentas reduzindo significativamente o tempo de preparação das máquinas (CORRER, 2006; COSTA et al., 2014). No entanto, ainda não estão preparados para conectar-se com bancos de dados de outros sistemas informatizados existentes, pois são integrados apenas com o comando número da máquina, sendo incapazes de tomar decisões.

Visando aprimorar os recursos existentes e buscar novas competências para os sistemas automáticos de pré-ajustagem de ferramentas, o presente artigo tem como principal objetivo, desenvolver um estudo sobre as funções adicionais que esses sistemas podem executar visando a sua aplicação no contexto da indústria 4.0.

2. Referencial teórico

2.1. Indústria 4.0

Atualmente, a produção industrial é fomentada pela concorrência internacional e às necessidades de rápida adaptação dos sistemas de produção para atender às constantes

mudanças e exigências do mercado. Segundo Rojko (2017), estas necessidades podem apenas ser alcançadas através de avanços radicais nas tecnologias de manufatura atuais.

As empresas que desejam seguir o rumo da Indústria 4.0 devem, imprescindivelmente, avaliar suas capacidades e adaptar suas estratégias de forma a apropriar sua implementação neste novo cenário (SANTOS et al., 2018). Segundo Longo et al. (2017), este novo estágio da indústria exige uma evolução do papel humano dentro dos sistemas de produção, no qual todas as atividades de trabalhos sejam realizadas com abordagens inteligentes.

A troca de informações dentro de um processo de fabricação evoluiu ao longo dos anos. Esta nova etapa industrial se tornou possível devido à utilização das tecnologias de informação e comunicação, conectando máquinas e equipamentos a computadores, e estes computadores a redes de dados. (KUSIAK, 2019; DALENOGARE et al., 2018).

Com a capacidade de conectar pessoas, máquinas, equipamentos, produtos e dados, surge um dos conceitos essenciais para a Indústria 4.0: as fábricas inteligentes, que possibilitam novas maneiras de organizar e conduzir processos industriais. (KAGERMANN et al., 2013; HERMANN et al., 2016).

De acordo com Rojko (2017), as máquinas na Indústria 4.0 constituem os chamados CPS, sistema físicos integrados às tecnologias de ICT. Estes são sistemas autônomos que podem tomar suas próprias decisões com base em algoritmos e captura de dados em tempo real, resultados de análises e até mesmo registros de comportamentos anteriores. Com a utilização do CPS para processamento de informações, as empresas têm mais suporte para os processos de tomada de decisão e têm uma adaptação mais rápida para vários tipos de eventos, como falhas na linha de produção. (SCHUH et al., 2017).

2.2. Sistemas físicos-cibernéticos (CPS)

Com o desenvolvimento da nova geração das tecnologias de informação e comunicação, os modos de produção têm mudado de produção em massa para a individualização em massa, e o sistema de produção correspondente avançou de automatizado para autônomo. (DING et al., 2019).

Uma das vertentes mais significativas no desenvolvimento da ciência da computação e das tecnologias de informação e comunicação é representada pelos Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS), sistemas computacionais colaborativos que estão em profundo vínculo com o mundo físico e seus processos em andamento, fornecendo e utilizando, ao mesmo tempo, serviços de acesso e processamento de dados disponíveis na internet. (MONOSTORI, 2014).

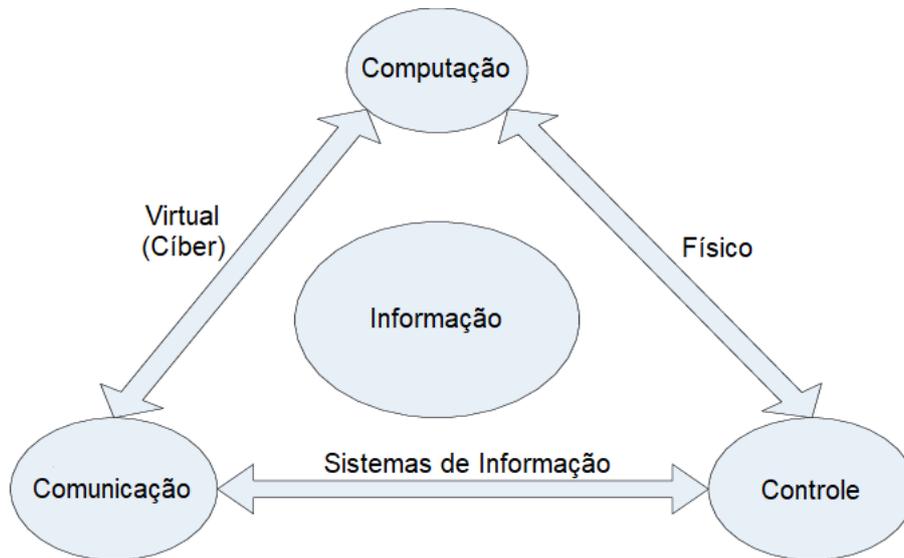
Os sistemas físico-cibernéticos não são projetados como sistemas completamente novos. Em vez disso, eles evoluem através da conexão entre as infraestruturas já existentes de tecnologia da informação, como a Internet, serviços de comunicação móvel e computação em nuvem (GEISBERGER e BROY, 2012). Na figura 1, é possível observar como se dá a integração do CPS dentro de um sistema de manufatura inteligente com equipamentos de uma fábrica conectados em nuvem.

Segundo Monostori (2014), a aplicação dos CPS nas indústrias eleva os sistemas produtivos para os chamados Sistemas de Produção Físico-Cibernéticos (CPPS), que compreendem em elementos e subsistemas autônomos e cooperativos que estão se conectando entre si de maneira dependentes em todos os níveis de produção, desde máquinas a redes de produção e logística.

Nos sistemas de manufatura, os Sistemas Físico-Cibernéticos constituem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar

informações autonomamente, desencadeando ações e controlando-se independentemente dentro das chamadas Fábricas Inteligentes. (KAGERMANN et al., 2013; ZUEHLKE, 2010).

Figura 1 – Arquitetura 3C para de um CPS



Fonte: Adaptado de Wan et al. (2011)

As Fábricas Inteligentes exibem um paradigma de produção atraente e promissor, que apresenta muitas vantagens que podem lidar com os desafios globais, no sentido de que os produtos personalizados e pequenos lotes de fabricação poderão ser produzidos de maneira mais eficiente e lucrativa (HE e JIN, 2016). Além dos benefícios econômicos, em consideração aos recentes requisitos de manufatura consciente e sustentabilidade, a reconfigurabilidade pode ser considerada como um recurso vital para as empresas de produção. (MONOSTORI et al., 2016).

Dentro dos limites de uma fábrica, vários subsistemas físicos ou informacionais estão envolvidos durante a produção e o gerenciamento. Esses subsistemas se fazem presentes em diferentes níveis hierárquicos, como em níveis de atuador e sensor, controle, gerenciamento de produção, fabricação, execução e planejamento. (WANG et al., 2016).

Segundo Geisberger e Broy (2012), o fator decisivo para que as redes de sistemas físico-cibernéticos ultrapassem estes limites é que as informações de diferentes dispositivos e aplicativos sejam semanticamente compatíveis, permitindo assim suas interações através da interoperabilidade. Isso envolve a abordagem dos desafios implicados pela ampla gama de diferentes fontes de dados e dispositivos, sendo necessária uma infraestrutura de rede segura e eficiente, com altas taxas de transferência e armazenamento de dados, para garantir uma troca segura de informações. (KAGERMANN et al., 2013).

2.3. Sistemas automáticos de pré-ajustagem de ferramentas

A utilização de máquinas-ferramenta CNC é extensamente apregoada entre as empresas de usinagem, pois proporciona uma elevada capacidade produtiva, atendendo aos mais altos níveis de exatidão e precisão requeridos pelos clientes. Embora a tecnologia CNC ofereça uma elevada produtividade, alguns fatores, como o tempo de preparação destas máquinas, influenciam de negativamente esta característica. (SILVA et al., 2017).

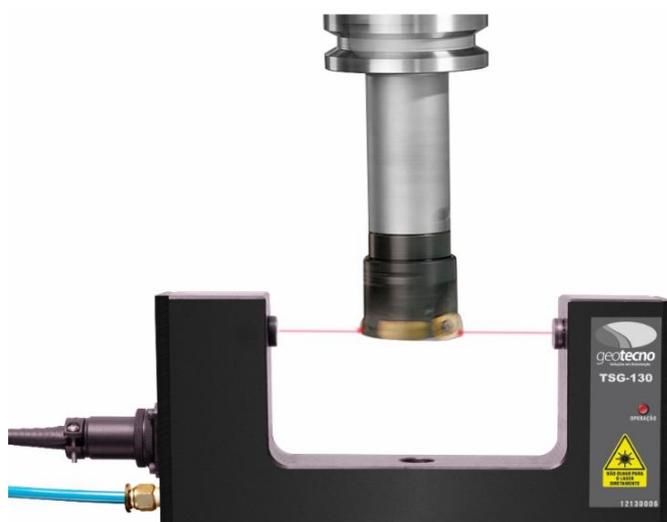
Também conhecido como *presetting*, a medição das ferramentas é uma etapa de preparação das máquinas CNC de fundamental importância, pois afeta de maneira direta as dimensões finais da peça (SILVA et al., 2017). Segundo Simon et al. (2002), uma parcela expressiva do tempo de preparação das máquinas ferramentas é consumida no ajuste das

ferramentas, o que aumenta o tempo improdutivo do equipamento e compromete assim a eficiência e competitividade dos processos.

O processo de pré-ajustagem de ferramentas constitui-se em informar ao comando da máquina ferramenta CNC as dimensões de cada ferramenta a ser utilizada durante a operação de usinagem, e a forma como a pré-ajustagem é executada, pode ocasionar maiores tempos de configuração, especialmente em operações que utilizam diversas ferramentas. Este processo de pré-ajustagem de ferramentas pode ser realizado de três diferentes maneiras: pré-ajustagem manual, pré-ajustagem automática externa e pré-ajustagem automática interna. (CORRER, 2006; EVANGELISTA et al., 2019).

A pré-ajustagem de ferramentas interna é realizada de maneira automática na máquina com o auxílio de dispositivos conhecidos como *toolsetters*, usualmente montados na mesa do centro de usinagem, necessitando apenas que o operador realize a fixação da ferramenta na máquina e informe as medidas aproximadas (EVANGELISTA et al., 2019). A figura 2 apresenta um sistema automático de pré-ajustagem de ferramentas.

Figura 2 – Sistema automático de pré-ajustagem de ferramentas



Fonte: Adaptado de Geotecno (2020)

Estes dispositivos são capazes de registrar as dimensões das ferramentas, verificando falhas, como desgastes, quebras ou outras possíveis modificações que a ferramenta possa sofrer, além de realizar o monitoramento durante o processo de usinagem, automatizando as correções de diâmetro e comprimento. (COSTA et al., 2014).

De acordo com Correr (2006) e Costa et al. (2014), os atuais sistemas de pré-ajustagem de ferramentas já permitem a execução automática de pré-ajustagem, monitoramento de desgaste e detecção de quebra de ferramentas, além de realizar o monitoramento durante o processo de usinagem, automatizando as correções de diâmetro e comprimento.

A utilização destes dispositivos e equipamentos para a pré-ajustagem das ferramentas, não só permite eliminar os tempos gastos no processo, como também permite reduzir ou eliminar outras parcelas do tempo de preparação das ferramentas, aumentando-se os ganhos em produtividade e reduzindo-se os custos do ciclo de fabricação (SIMON et al., 2002; VOLPATO et al., 2009).

Apesar das economias substanciais que agrega aos processos produtivos das empresas, estes dispositivos são integrados apenas com o comando número da máquina, sendo incapazes de tomar decisões. Segundo Rojas et al. (2017), uma vez que o CPS possui recursos de autocontrole, este deve ser capaz de enviar e receber fluxos de informações

cada vez mais estruturados sobre outros equipamentos e sobre si mesmo para operar tarefas e coordenar operações

4. Metodologia do desenvolvimento da pesquisa

A metodologia principal adotada para o desenvolvimento deste estudo qualitativo foi uma revisão sistemática da literatura, utilizando como principal fonte de consulta artigos científicos publicados em periódicos online. Segundo Gil (2002), o principal proveito da realização de uma pesquisa bibliográfica encontra-se no fato de oportunizar ao investigador uma abrangência de um conjunto de ideias muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço.

De modo a coletar dados referentes às características dos sistemas físico-cibernéticos e atingir o objetivo da presente pesquisa, foi realizado um levantamento de artigos concernentes ao assunto publicados em periódicos online. Para isso, utilizou-se a base de dados do Scopus, na qual foram pesquisados artigos considerando título, resumo e palavras-chave, seguindo os seguintes critérios:

- Termos de pesquisa: “*cyber-physical systems*” e “*manufacturing*”;
- Área de pesquisa: engenharia;
- Tipo de documento: artigo;
- Idioma: inglês;
- Palavras-chave: “*cyber-physical systems*”, “*cyber-physical production systems*”, “*industry 4.0*”.

Ao todo, foram encontrados 378 artigos. Destes, realizando um segundo filtro de palavras-chave apenas para os que continham “*cyber-physical systems*” ou “*cyber-physical production systems*”, foram observados 240 artigos. Como terceiro filtro, dos artigos identificados com estas palavras-chave, foram lidos ainda seus respectivos resumos para compreensão do conteúdo a ser apresentado pelos autores, sendo apenas considerados os artigos em que eram abordadas as características e desenvolvimentos de sistemas físico-cibernéticos, totalizando ao final 62 artigos a serem analisados. Cada um destes artigos foi cautelosamente lido e analisado, a fim de observar e encontrar o maior número possível de descrições e detalhes com relação às características que um sistema físico-cibernético possui e quais funções desempenha dentro de um sistema de manufatura inteligente, para assim, definir as novas integrações possíveis aos sistemas de pré-ajustagem de ferramentas.

5. Resultados e discussões

Dentro dos sistemas de manufatura, os CPS constituem as máquinas que compõe as fabricas inteligentes, equipamentos capazes de transmitir e receber informações de maneira autônoma, gerando ações e controlando-se independentemente (KAGERMANN et al., 2013). Para que isso se torne possível, novas estruturas de trabalhos e modelos de negócios precisam ser estudados, uma vez que o CPS ainda está em seu estágio inicial de desenvolvimento e não possui uma estrutura unificada ou arquitetura geral que permite sua implementação em diferentes equipamentos e aplicativos. (HE e JIN, 2016).

A concepção escalável das arquiteturas digitais dos sistemas físico cibernéticos para sistemas de fabricação inteligentes é um dos aspectos que permite e conectividade necessária para a configuração, monitoramento e manutenção da capacidade operacional, qualidade e eficiência dos processos produtivos (PENAS et al., 2017). No quadro 1, são apresentadas as principais características citadas pelos autores, ordenadas de acordo com o número de citações.

Quadro 1 – Principais características dos CPS

Característica	Número de citações
Conectividade/Comunicação	60
Auto-capacidades/Autônomo	57
Controle em tempo real	55
Interoperabilidade	55
Responsividade	52
Previsibilidade/Capacidade analítica	51
Inteligência/Capacidade cognitiva	50
Adaptabilidade/Flexibilidade	47
Eficiência	34
Resiliência/Confiabilidade	31
Segurança/Privacidade	24
Rápido processamento	21
Robustez	19
Disponibilidade	15
Acesso remoto	15
Transparência	8

Fonte: Autores

De acordo com as características apresentadas anteriormente, observa-se inúmeras oportunidades de desenvolvimento de novas competências aos sistemas de pré-ajustagem automática de ferramentas. Essas novas capacidades não apenas acrescentará ao equipamento novas funcionalidades, como permitirá também novas interpretações das informações coletadas, agregando valor à toda cadeia produtiva através das diferentes integrações que o dispositivo será capaz de realizar.

Segundo Correr (2006) e Costa et al. (2014), os atuais sistemas de pré-ajustagem já permitem o monitoramento do desgaste e quebra de ferramentas, porém são informações passadas apenas para o comando numérico da máquina. Considerando a primeira característica apresentada neste capítulo, e a mais citada pelos autores nos trabalhos consultados, através de tecnologias como *Big Data*, Computação em Nuvem e IoT, poderiam ser compartilhadas com outros equipamentos e dispositivos utilizados ao longo do processo produtivo.

Os sistemas físico-cibernéticos contêm diferente tipos de dispositivos que podem ser conectados à rede para aquisição rápida de dados. Contudo, de acordo com Fatorachian e Kazemi (2018), para que todas as máquinas sejam capazes de se conectar e trocar informações entre si, é necessário que possuam uma elevada capacidade de processamento de modo com que as informações sejam transmitidas de maneira eficiente, segura, confiável e em tempo real.

Para Monostori et al. (2016), a crescente conectividade abre caminho para vários tipos de integração com bases em informações compartilhadas através de todos os níveis de produção, desde os processos até as cadeias de suprimentos. Sendo assim, uma vez compartilhadas, as informações ficariam disponíveis para utilização tanto pelos sistemas de gerenciamento e monitoramento do próprio sistema automático de pré-ajustagem de ferramentas, como também para utilização por outros equipamentos da fábrica, possibilitando a interoperabilidade. Ainda, segundo Cheng et al. (2018), considerando todos as interatividades dos processos interoperáveis, é necessário que exista transparência no compartilhamento de informações para que as previsões dos sistemas sejam realistas o suficiente a fim de tomar ações concretas.

Um exemplo desta integração que pode ser citado, envolve uma outra característica a ser implementada ao sistema automático de pré-ajustagem de ferramentas, que são as autotécnicas. Considerando que os sistemas de pré-ajustagem já são capazes de realizar o monitoramento do desgaste e quebra da ferramenta, este poderia otimizar os processos de fabricação de acordo com a previsão da vida útil da ferramenta, ajustando de maneira autônoma os parâmetros de usinagem da máquina em que está conectado com ajuda de softwares de engenharia, ou até mesmo indicar qual a melhor sequência de processos e equipamentos para a fabricação de determinado produto.

Além disso, integrando o compartilhamento e armazenamento de informações dentro de um sistema ERP, torna-se possível também que o dispositivo avalie os parâmetros de acordo com as ferramentas disponíveis para utilização, notificando o operador da necessidade de troca ou até mesmo gerando ordens de compra direto ao fornecedor de acordo com o planejamento de produção da fábrica. Observa-se, nos casos supracitados, a necessidade do dispositivo como um CPS, de responder ativa e agilmente às mudanças e tomar decisões que otimizem sua operação através da análise de seu entorno.

Para Ribeiro e Bjorkman (2018), a capacidade de um equipamento de sobreviver em ambiente de mudanças contínuas e imprevisíveis, alavanca o desenvolvimento das indústrias e fortalece sua competitividade frente a um cenário cada vez mais voltado à personalização em massa. Com isso, a resiliência é um fator de extrema importância para que o equipamento seja capaz de manter o seu nível de desempenho sob diferentes condições e com alta confiabilidade, o que, segundo Mittal et al. (2017), permitirá a flexibilidade das linhas de fabricação.

Esta flexibilidade proporcionada se relaciona diretamente com as capacidades de aprendizado e previsibilidade do equipamento, seja a partir de informações coletadas em tempo real ou com dados coletados em eventos passados. De acordo com Lee et al. (2017), nos sistemas de produção preditivos, os equipamentos inteligentes são equipados com autoconsciência para prever e reconfigurar a fábrica em cada de eventos defeituosos, incorporando dados que refletem o histórico da máquina e apoiam as operações. Desta maneira, além da reconfiguração, o sistema automático de pré-ajustagem permitiria também a implementação de uma manutenção preditiva, de modo a reduzir as perdas dos processos com a parada dos equipamentos.

Conforme apresentado por Rojas e Rauch (2019), o alto poder de processamento oferecido pelas novas gerações de computadores de alta tecnologia abre a possibilidade para que os equipamentos realizem a análise de grandes quantidades de dados em alta velocidade e as disponibilizem além para acesso em qualquer local. Para Serpanos (2018), a utilização das tecnologias em rede para transferir dados proporciona oportunidades de combinar processos de maneira distribuída, coletando dados remotamente para análise, otimização e gerenciamento de processos.

No entanto, segundo Liu et al. (2017), para que o equipamento seja capaz de superar erros na rede, é necessário o estabelecimento de um sistema robusto capaz de lidar com incertezas e responder de forma flexível a eventualidades em massa, pois, com os recursos de fabricação integrados cada vez mais além dos processos convencionais de produção, novas vulnerabilidades surgiram nos sistemas. Com isso, outro fator importante é a segurança e privacidade dos usuários e equipamentos, pois, para Wang et al. (2015), a segurança dos sistemas de manufatura inteligente é uma questão que, caso não desenvolvida efetivamente, poderá barrar grandes avanços na implementação do CPS nas indústrias.

6. Considerações finais

Como apresentado neste artigo, os sistemas automáticos de pré-ajustagem de ferramentas são de extrema necessidade dentro da indústria de manufatura, em especial às empresas voltadas ao ramo da usinagem. Estes dispositivos contribuem para a produtividade das máquinas ferramenta, uma vez que permitem o monitoramento das condições das ferramentas a serem utilizadas no processo de usinagem, assim como identificar a quebra, o que reduz significativamente o tempo improdutivo dos equipamentos.

Com isso, visando explorar novas funcionalidades para os sistemas automáticos de pré-ajustagem de ferramentas, o artigo contribui na área de pesquisa dos sistemas físico-cibernéticos pois, ao considerarmos estes sistemas dentro de um contexto de manufatura inteligente, observa-se oportunidades de desenvolvimentos que busquem ampliar suas aplicações.

Tais aplicações, conforme apresentado e discutido, permitem uma extensa integração entre diferentes equipamentos em diferentes níveis de produção e localidade, desde os processos que ocorrem no chão de fábrica, até as áreas administrativas e de engenharia, promovendo a integração de toda a cadeia produtiva da empresa.

Referências

CHENG et al. Cyber-physical integration for moving digital factories forward towards smart manufacturing: a survey. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 97, p. 1209-1221, 2018.

CORRER, Ivan. **Projeto e Construção de um Sistema de Pré-Ajustagem de Ferramentas Interno a Lases para Uso em Máquinas-Ferramenta CNC**. Santa Bárbara D'Oeste, 161 p., 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba.

COSTA et al. Ganhos de Produtividade e Redução de Perdas com o Uso de Sistemas Toolsetter Laser. **XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2014.

DALENOGARE et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383-394, 2018.

DINARDO, G.; FABBIANO, L.; VACCA, G. A smart and intuitive machine condition monitoring in the Industry 4.0 scenario. **Measurement**, v. 126, p. 1-12, 2018.

DING et al. Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors. **International Journal of Production Research**, p. 1-20, 2019.

EVANGELISTA et al. Impactos da Operação de Pré-ajustagem de Ferramentas da Eficiência do Processo de Usinagem. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, ano 15, n. 1, p. 283-299, 2019.

FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalization framework. **Production Planning & Control**, v. 29, p.633-644, 2018.

GEISBERGER, M.; BROY, E. **Cyber-Physical Systems**: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. Acatech POSITION PAPER, Springer Verlag, Berlim, 2012.

GEOTECNO. **Sistema automático a laser para medição de ferramentas – TSG130**. Disponível em: <<http://geotecno.com.br/produto-2/>> Acessos em:25 set. 2020.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

HE, Kaifei; JIN, Man. **Cyber-Physical System for maintenance in industry 4.0**. Jonkoping, 64 p., 2016. Dissertação (Programa de Mestrado em Sistemas de Produção) – Jonkoping University.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. **49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)**, 2016.

KAGERMANN, H.; WAHLSTE, W.; HELBIG, J. **Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**. ACATECH: National Academy of Science and Engineering, Munich, 2013.

KUMAR et al. Ontologies for Industry 4.0. **The Knowledge Engineering Review**, v. 34, n. 17, p. 1-14, 2019.

KUSIAK, A. Fundamentals of smart manufacturing: A multi-thread perspective. **Annual Review in Control**, v. 47, p. 214-220, 2019.

LEE, J.; JIN, C.; BAGHERI, B. Cyber physical systems for predictive production systems. **Production Engineering**, v. 11, p. 155-165, 2017.

LIU et al. Review on Cyber-physical Systems. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, v. 4, n. 1, p. 27-40, 2017.

LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Smart operators in industry 4.0: a human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. **Computers & Industrial Engineering**, v. 113, p. 144-159, 2017.

MITTAL et al. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 233, n. 5, p. 1342-1361, 2017.

MONOSTORI et al. Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v. 65, p. 621-641, 2016.

MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 9-13, 2014.

NUNES, D. L.; BORSATO, M. Panorama Atual dos Sistemas Cíber-Físicos no Contexto da Manufatura. **Congresso Brasileiro de Gestão da Inovação e Desenvolvimento de Produtos**, 2015.

PENAS et al. Multi-scale approach from mechatronic to Cyber-Physical Systems for the design of manufacturing systems. **Computers in Industry**, v. 86, p. 52-69, 2017.

RIBEIRO, L.; BJORKMAN, M. Transitioning from Standard Automation Solutions to Cyber-Physical Production Systems: An Assessment of Critical Conceptual and Technical Challenges. **IEEE Systems Journal**, v. 12, n. 4, p. 3816-3827, 2018.

- ROJAS et al. Enabling Connectivity of Cyber-Physical Production Systems: A Conceptual Framework. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 822-829, 2017.
- ROJAS, R.; RAUCH, E. From a literature review to a conceptual framework of enablers for smart manufacturing control. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 104, p. 517-533, 2019.
- ROJKO, A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. **Journal of Interactive Mobile Technologies**, v. 11, n. 5, p. 77-90, 2017.
- SANGHAVI, D.; PARIKH, S.; RAJ, A. Industry 4.0: Tools and Implementation. **Management and Production Engineering Review**, v. 10, n. 3, p. 3-13, 2019.
- SANTOS et al. Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.
- SCHUH et al. **Industrie 4.0 Maturity Index**: Managing the Digital Transformation of Companies. Acatech STUDY, Munique, 2017.
- SERPANOS, D. The Cyber-Physical Systems Revolution. **Computer**, v. 51, n. 3, p. 70-73, 2018.
- SILVA, et al. Sistema para pré-ajustagem de ferramentas, utilizando processamento de imagens, aplicado a um centro de usinagem CNC. **Revista Principia**, n. 36, p. 141-156, 2017.
- SIMON et al. Influência das Técnicas de Pré-Ajustagem de Ferramentas na Utilização de Tecnologia CNC no Brasil. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2002.
- STOCK et al. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 254-267, 2018.
- VOLPATO, N.; REBEYKA, C.; COSTA, D. A proposal for tool-setting data integration. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 41, p. 960-971, 2009.
- WAN et al. Investigation on Composition Mechanisms for Cyber Physical Systems. **International Journal of Design, Analysis and Tools for Circuits and Systems**, v. 2, n. 1, p. 30-40, 2011.
- WANG et al. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2015.
- WANG et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data base d feedback and coordination. **Computer Networks**, v. 101, p. 158-168, 2016.
- ZUEHLKE, D. SmartFactory – Towards a factory-of-things. **Annual Reviews in Control**, v. 34, p. 129-138, 2010.