

Monitoramento e Medição de ferramentas em máquinas-ferramenta CNC: Um estudo bibliométrico (2010-2020)

LUCAS ZAMPAR BERNARDI

Universidade Metodista de Piracicaba. SP, Brasil

IVAN CORRER

Universidade Metodista de Piracicaba. SP, Brasil

MILTON VIEIRA JUNIOR

Universidade Metodista de Piracicaba. SP, Brasil

Resumo

Com o advento das máquinas-ferramenta CNC, ocorreu uma otimização radical nos processos industriais de usinagem, visto que, por se tratar de um processo automatizado elevou-se a qualidade e repetibilidade dos produtos, reduzindo retrabalho, consequentemente desperdício e prejuízos. Um dos fatores que auxiliam no aumento da produtividade nos processos de usinagem é o monitoramento e medição de ferramentas em máquinas-ferramenta CNC, tendo em vista que auxilia no processo de redução do tempo de preparação, controle da vida útil da ferramenta, e o monitoramento em processo da usinagem. Portanto, para obter conhecimento de trabalhos realizados e o grau de conhecimento da comunidade científica a respeito do tema, o presente trabalho visa apresentar um estudo bibliométrico (2010-2020) sobre o monitoramento e medição de ferramentas em máquinas-ferramenta CNC. Os resultados obtidos apresentam que os estudos sobre o tema estão em ascensão em função do avanço da Indústria 4.0, e percebe-se uma tendência nos artigos sobre a necessidade no desenvolvimento de novas técnicas de sensoriamento de máquinas visando descobrir e entender novos parâmetros que podem corroborar na melhoria da eficiência da cadeia produtiva.

Palavras-chaves: Monitoramento; Medição de ferramentas; Máquinas-Ferramenta CNC; Estudo bibliométrico

1. INTRODUÇÃO

Quando se trata de competitividade, aparenta existir um significado claro e direto, pois implicitamente remete a capacidade de concorrer no mercado, superando os concorrentes na preferência dos consumidores (CNI, 2016).

A competitividade entre países, comumente está ligada a diferentes visões governamentais e industriais sobre como ocorre o processo de desenvolvimento econômico de cada um, resultando em diferentes padrões de vida de para os seus habitantes.

Em busca da melhora na competitividade, as empresas cada vez mais são estimuladas a buscarem por novos métodos de produção que as tornem, entre outros aspectos, mais precisas e flexíveis, e isso sem que haja perda da qualidade ou aumento do custo (JURKO, 2011; LOTT, 2011).

Ao longo dos tempos, as civilizações têm passado por diversas mudanças de grande magnitude nas mais diversas áreas com o aprimoramento das técnicas e o domínio de novas. Nos processos de manufatura e automação de operações, isso não é diferente e ignorar essas novas tecnologias inseridas na quarta revolução industrial na qual estamos vivendo, é aceitar uma clara desvantagem frente aos concorrentes. Portanto é necessário conhecer os caminhos para aplicar as mudanças com sucesso.

Uma das tecnologias que se tem evoluído de forma exponencial é a utilização e a otimização de máquinas por comando numérico (CNC), suas ferramentas e seus processos. São considerados máquinas CNC equipamentos que operam posicionando ferramentas, peças e ajustando parâmetros de usinagem de acordo com um programa desenvolvido previamente e executado por um computador. Essa tarefa antes, tinha como obrigatoriedade a necessidade de um operador com conhecimentos dos processos.

A importância do uso de máquinas CNC na indústria é tanta que a ocorreu uma otimização radical nos processos industriais de usinagem, já que, por se tratar de um processo automatizado, elevou-se a qualidade e repetibilidade dos produtos, reduzindo retrabalho, consequentemente desperdício e prejuízos. Outro fator extremamente importante do uso de máquinas CNC, foi a capacidade de tornar as linhas de montagens mais flexíveis, devido ao tempo de “setup” para

uma nova linha ser muito menor, quando comparado aos processos tradicionais de usinagem, e essa tendência de produzir peças customizadas em lote decrescente tamanhos aumentou a importância de ter sistemas de manufatura flexíveis em vez de equipamentos dedicados (SCHWENKE, 2008).

Além disso, o equipamento de usinagem em geral tem passado por melhorias contínuas e rápidas exigidas por requisitos rigorosos de novas peças em termos de complexidade e qualidade. Esta tem sido a regra que rege a indústria metal mecânica (LORINCZ, 2008). Raksiri e Parnichkun (2004) afirmam que os fatores mais importantes para atender a esses requisitos são a precisão e exatidão das máquinas-ferramenta.

Em linha com esses princípios, as máquinas CNC adquiriram características sofisticadas necessárias para enfrentar esses desafios em evolução: Makhanov (2010) identificou máquinas CNC de cinco eixos que se tornaram muito comuns na indústria devido à sua capacidade de usinar formas de peças muito complexas usando uma ampla gama de materiais desde de madeiras, metais à polímeros sinterizados.

Para apoiar as máquinas CNC no desenvolvimento de seu trabalho de maneira adequada, pré-configuradores e configuradores de ferramentas têm sido usados com frequência. Eles visam aumentar a capacidade competitiva de usinagem, aumentando a flexibilidade e a qualidade simultaneamente com tempos de ciclo reduzidos.

Por se tratar de objeto de estudo essas máquinas do comando numérico, foi proposto um trabalho de utilizá-las para que, além das operações de usinagem, realizassem o processo de medição utilizando a mesma infraestrutura do maquinário instalado.

Para obter conhecimento de trabalhos realizados, o grau de conhecimento da comunidade científica a respeito do tema, o presente trabalho visa apresentar um estudo bibliométrico sobre monitoramento e medição de ferramentas em máquinas-ferramenta CNC.

2. METODOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, foi utilizado um estudo bibliométrico que foi introduzido como uma técnica de análise por

Pritchard em 1969, que possibilita um diagnóstico quantitativo da literatura (SUN; WANG; HO, 2012).

Segundo Small (2003) e Gumpenberger e Gorraiz (2012), o estudo bibliométrico tem como intuito medir e monitorar a produção científica em diversas áreas, com o objetivo de aumentar o desempenho de pesquisas e avaliar suas tendências, pesquisando características como: autoria, fontes de pesquisa, temas, origens geográficas, citações e cocitações.

A metodologia adotada para a realização do presente artigo foi composta por três etapas: busca dos artigos, análise dos artigos e síntese dos resultados, tendo em vista identificar as pesquisas que relacionam a aplicação dos conceitos medição de ferramentas em centros de comandos numéricos.

Para a busca e seleção dos artigos, foi desenvolvido e aplicado um protocolo de pesquisa em duas etapas, a fim de definir os critérios de inclusão e exclusão dos textos a serem utilizados no estudo bibliométrico.

Na primeira etapa do estudo bibliométrico, foi realizada uma pesquisa para identificar qual o cenário geral em que as publicações sobre o tema se encontram. Já para a segunda etapa, foi realizado um recorte da estratificação da etapa 1, apenas das publicações obtidas em artigos de revistas científicas. A busca dos artigos foi finalizada no dia 09/08/2021. O Quadro 1 apresenta o protocolo de pesquisa utilizado.

Crítérios	Descrição
Base de dados	<i>Scopus, Web Of Science, Science Direct</i>
Palavras-chave	<i>("tool monitoring"OR"tool measurement") AND "machine tool"</i>
Contém palavras-chave	Título, Resumo, Palavras-chave
Período	2010-2020
Área	Engenharia
Tipo de material	Artigo
Tipo de pesquisa	Revistas
Língua	Inglês

Quadro 1 – Protocolo de pesquisa

Fonte: Os autores

Para a escolha das fontes de busca e indexação dos artigos, foi considerada as três mais utilizadas para a área de engenharia e

manufatura, conforme quadro 2, respectivamente com as quantidades de artigos publicados em cada uma delas.

Base de dados	Descrição
<i>Scopus</i>	298
<i>Web Of Science</i>	53
<i>Science Direct</i>	32
Total	383

Quadro 2 - Quantidade de artigos encontrados nos bancos de dados

Fonte: Os autores

Dentre os 383 artigos pesquisados e selecionados, 64 artigos estavam duplicados entre as fontes de indexação. Após a leitura do título, resumo e palavras-chave dos artigos, realizada por 2 pesquisadores envolvidos, foram definidos que 59 estavam alinhados com o tema e foram considerados relevantes para o estudo. O processo desta seleção é apresentado na Figura 3.

Afim de garantir que os artigos a serem analisados fossem os com técnicas e tecnologias mais recentes, foi adotado um filtro de artigos com no máximo 10 anos de publicação.

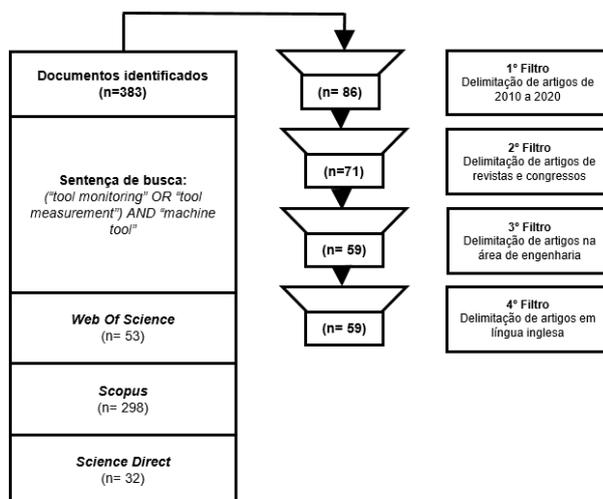


Figura 3 – Processo de seleção dos artigos

Fonte: Os autores

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como pode ser observado na Figura 4, é possível identificar um pico de crescimento das pesquisas sobre o tema nos últimos cinco anos. Isso demonstra um interesse cada vez maior dos autores e pesquisadores sobre o assunto. O aumento no número de publicações tem sido influenciado principalmente pelo maior interesse nas pesquisas relacionadas aos conceitos de Indústria 4.0. na qual o tema de medição por máquinas está totalmente inserido.

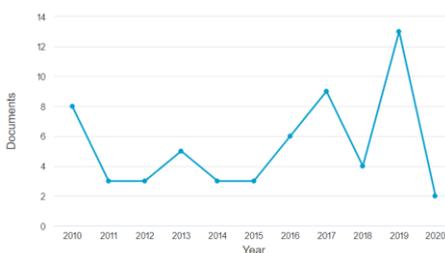


Figura 4 – Quantidade de artigos publicados por ano

Fonte: Os autores

Um ponto interessante a ser observado é que os 10 principais autores selecionados correspondem a quase 50% de todos os artigos, tornando-os referência para o tema de medição em máquinas, conforme Figura 5.

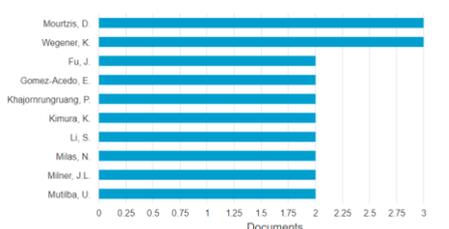


Figura 5 – Quantidade de publicações por autores

Fonte: Os autores

Como observado no Quadro 3, entre os artigos mais citados, apresenta-se uma distribuição igualitária na linha do tempo, na qual, artigos mais antigos geralmente são relacionados com condições de monitoramento e performance e artigos mais recentes, estão

Lucas Zampar Bernardi, Ivan Correr, Milton Vieira Junior– **Monitoramento e Medição de ferramentas em máquinas-ferramenta CNC: Um estudo bibliométrico (2010-2020)**

relacionados com aquisição dados e tratamentos em redes de sensores, big-data e sistemas de rede neurais.

Autores	Título do artigo	Ano da Publicação	Citações
Cus, F., Zuperl, U.	<i>Real-time cutting tool condition monitoring in milling</i>	2011	46
Bhinge, R., Park, J., Law, K.H., (...), Helu, M., Rachuri, S.	<i>Toward a Generalized Energy Prediction Model for Machine Tools</i>	2017	32
Mourtzis, D., Vlachou, E., Milas, N., Dimitrakopoulos, G.	<i>Energy Consumption Estimation for Machining Processes Based on Real-time Shop Floor Monitoring via Wireless Sensor Networks</i>	2016	23
Bostelman, R., Hong, T., Marvel, J.	<i>Survey of research for performance measurement of mobile manipulators</i>	2016	20
Mourtzis, D., Doukas, M., Vlachou, A., Xanthopoulos, N.	<i>Machine availability monitoring for adaptive holistic scheduling: A conceptual framework for mass customization</i>	2014	20
Gontarz, A.M., Hampl, D., Weiss, L., Wegener, K.	<i>Resource consumption monitoring in manufacturing environments</i>	2015	19
Beňo, M., Zvončan, M., Kováč, M., Peterka, J.	<i>Circular interpolation and positioning accuracy deviation measurement on five axis machine tools with different structures</i>	2013	16
Lynn, R., Louhichi, W., Parto, M., Wescoat, E., Kurfess, T.	<i>Rapidly deployable mtconnect-based machine tool monitoring systems</i>	2017	15
Khajornrungruang, P., Kimura, K., Takaya, Y., Suzuki, K.	<i>High precision tool cutting edge monitoring using laser diffraction for on-machine measurement</i>	2012	10

Quadro 3 – Quantidade de citações dos artigos

Fonte: Os autores

Em relação a quantidade de autores dos países que mais publicaram (Figura 6) e o ranking das instituições com maior número de publicações (Figura 7), destacam-se a China e Estados Unidos com 22 autores que publicaram sobre o tema seguidos da Alemanha, Japão e Grécia com 8, 5 e 4 autores respectivamente.

Em relação as instituições destacam-se a Universidade de Patras na Grécia, com 4 publicações, Instituto de pesquisa científica de Zurique com 3 e as demais selecionadas com 2 publicações cada uma. Deve ser ressaltado que outros 7 países possuem autores que publicam sobre o tema e que outras 36 instituições tiveram autores publicando artigos na área.

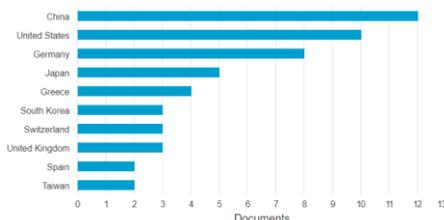


Figura 6 – Quantidade de publicações de autores por países

Fonte: Os autores

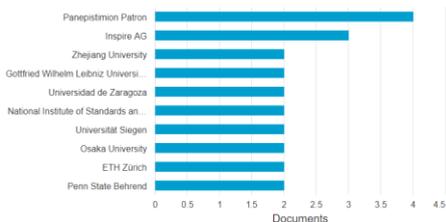


Figura 7 – Quantidade de publicações por instituições

Fonte: Os autores

Entre os principais agentes patrocinadores das pesquisas, se encontram a Comissão Europeia e a Fundação Nacional das Ciências Naturais da China com 3 artigos cada um respectivamente (Figura 8).

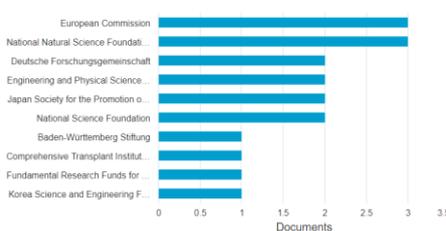


Figura 8 – Patrocinadores das pesquisas

Fonte: Os autores

Por fim, após a análise dos 59 artigos foram considerados válidos, foram selecionados os artigos com maior aderência ao tema central da pesquisa, através da análise dos títulos e resumos e a quantidade de citações em outros trabalhos correlatos.

Após a conclusão desta segunda etapa de seleção, com base nos títulos e resumos, 5 artigos foram selecionados para leitura e análise mais detalhada, sendo estes considerados aderentes e relevantes para o desenvolvimento do presente estudo e apresentado no Quadro 4.

Autor / Ano	Análise
Bhinge, R., Park, J., Law, K.H., (...), Helu, M., Rachuri, S.. / 2017	Além de ser desenvolvida uma metodologia para sensoreamento e coleta de dados de máquinas ferramentas, discute-se uma abordagem para o desenvolvimento de um modelo matemático para calcular a previsão de consumo de energia elétrica de uma máquina-ferramenta em diferentes configurações e parametros de usinagem.
Beño, M., Zvončan, M., Kováč, M., Peterka, J. / 2013	São abordados a configuração e as condições para a medição da precisão do posicionamento em máquinas-ferramentas CNC, além

	de comparar com os valores nominais garantidos pelo fabricante da máquina-ferramenta em estudo.
Khajornrungruang, P., Kimura, K., Takaya, Y., Suzuki, K. / 2012	Foi desenvolvido um dispositivo de medição de ferramenta na máquina usando difração a laser para medir experimentalmente deslocamentos de ferramenta da ordem de centenas de nanômetros.
Lynn, R., Louhichi, W., Parto, M., Wescoat, E., Kurfess, T.	São apresentados soluções para coleta de dados de máquinas ferramentas, utilizando um protocolo de computador de código fonte aberto: MTConnect.
Vieira Júnior M., Pereira, F.H., Lucato, W.C. Costa, F.S. / 2015	Discute-se as influências e identifica os valores mais adequados para ajustar o avanço e a velocidade do visando uma medição otimizada das ferramentas.

Quadro 4 – Trabalhos relevantes

Fonte: Os autores

4 - CONCLUSÃO

A amplitude e complexidade trazida pelo campo da engenharia de produção nos remete a necessidade reflexão e atuação ao cenário no qual as máquinas CNC inseridas para a melhoria de qualidade, performance e flexibilidade das linhas, essenciais ao dia de hoje.

A quarta revolução da industrial pode ser evidenciada amplamente nos artigos estudados e referenciados no atual artigo, e percebe-se uma tendência nos artigos atuais sobre a necessidade no desenvolvimento de novas técnicas de sensoriamento de máquinas visando descobrir e entender novos parâmetros que podem corroborar na melhoria da eficiência da cadeia produtiva.

Pode se afirmar então, que existe espaço para novos trabalhos ao longo desse tema, visto que os objetos de estudos são relativamente novos.

REFERÊNCIAS

- BEŇO, M.; ZVONČAN, M.; KOVÁČ, M.; PETERKA, J. **Circular interpolation and positioning accuracy deviation measurement on five axis machine tools with different structures**, 2013
- BHINGE, R.; PARK, J.; LAW, K. H.; HELU, M.; RACHURI, S. **Toward a Generalized Energy Prediction Model for Machine Tools**, 2017
- BOSTELMAN, R.; HONG, T.; MARVEL, J. **Survey of research for performance measurement of mobile manipulators**, 2016
- CHEN J.; HWANG Y. **Centrifugal force induced dynamics of a motorized high-speed spindle**. Int J Adv Manuf Technol 30(1–2):10–19, 2006

- CNI. **Competitividade Brasil 2016: Comparação com Países Selecionados**. Brasília: CNI, 2016.
- CUŠ, F.; ŽUPERL, U. **Real-time cutting tool condition monitoring in milling**, 2011
- GONTARZ, A.M.; HAMPL, D.; WEISS, L.; WEGENER, K. **Resource consumption monitoring in manufacturing environments**, 2015
- JURKO, J.; GAJDOS, M.; GECAK, J.; BERDIS, A. **Study on screw drill wear when drilling stainless steel**. Journal Manufacturing Engineering, v.2, p.17- 20, 2011.
- KHAJORNRUNGRUANG, P.; KIMURA, K.; TAKAYA, Y.; SUZUKI, K. **High precision tool cutting edge monitoring using laser diffraction for on-machine measurement**, 2012
- LORINCZ J. **Quality parts in the process**. Tool Prod 70(2):38–42, 2004
- LOTT, P.; SCHLEIFENBAUM, H.; MEINERS, W.; WISSENBAACH, K.; HINKE, C.; BÜLTMANN, J. **Design of an Optical system for the In Situ Process Monitoring of Selective Laser Melting (SLM)**. Physics Procedia, n.12, p. 683–690, 2011.
- LYNN, R.; LOUHICHI, W.; PARTO, M.; WESCOAT, E.; KURFESS, T. **Rapidly deployable MTCNN-based machine tool monitoring systems**, 2017
- Makhanov, SS. **Adaptable geometric patterns for five-axis machining: a survey**. Int J Adv Manuf Technol, 47(9–12):1167–1208, 2010
- MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; VLACHOU, A.; XANTHOPOULOS, N. **Machine availability monitoring for adaptive holistic scheduling: A conceptual framework for mass customization**, 2014
- MOURTZIS, D., VLACHOU, E., MILAS, N., DIMITRAKOPOULOS, G. **Energy Consumption Estimation for Machining Processes Based on Real-time Shop Floor Monitoring via Wireless Sensor Networks**, 2016
- RAKSIRI C.; PARNICHKUN M. **Geometric and force errors compensation in a 3-axis CNC milling machine**. Int J Mach Tools Manuf 44:1283–1291, 2004
- SCHWENKE H.; KNAPP W.; HAITJEMA H.; WECKENMANN A.; SCHMITT R.; DELBRESSINE R. **Geometric errors measurement and compensation of machines—an update**. Cirp Annals Manuf Technol 57:660–675, 2008