

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE CORRENTE EM MÁQUINA CNC DE PEQUENO PORTE COM USO DE ARDUINO

Victoria Azucena Ibarra Monteggia, azu_99ibarra@hotmail.com¹
Raphael Lima de Paiva, raphaellimap@ufpi.edu.br²
Déborah de Oliveira, oliveira.deborah@unb.br¹

¹Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP: 70910- 900, Brasília-DF, Brasil. ²Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella - Ininga, Teresina - PI, 64049-550

Resumo. Durante a usinagem de uma peça diferentes variáveis podem ser monitoradas para se conseguir informações sobre as condições de corte, dentre elas destaca-se a medição de forças e potências, como forma de compreender e quantificar o processo de corte. No entanto, dinamômetros usualmente possuem alto custo e manutenção sofisticada, desta forma, a avaliação da potência elétrica obtida por meio do monitoramento da corrente e tensão elétrica da máquina-ferramenta pode ser uma alternativa mais viável em termos de custo-benefício. Assim, para iniciar o estudo e delimitação de um sistema não comercial de medição de potência elétrica em processos de usinagem, este trabalho tem por objetivo propor um sistema de medição de corrente elétrica para máquinas-ferramenta utilizando Arduino. Para tal, o trabalho será dividido em etapas, inicialmente será realizada uma revisão bibliográfica sobre processos de usinagem e monitoramento de parâmetros elétricos, na sequência serão delimitados os materiais necessários para a construção do protótipo, seguido da implementação e programação e, por fim, testes em diferentes máquinas ferramenta. Ressalta-se que a proposta também possui uma aplicação didática, permitindo sua aplicação em laboratórios para pesquisas de iniciação científica e demonstrações em aulas práticas.

Palavras-chave: Usinagem, Fresamento, Monitoramento de processo, Corrente elétrica, Arduino.

1. INTRODUÇÃO

Processos de usinagem podem ser interpretados como operações “que, ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco” (Ferraresi, 1970). Já o cavaco é definido por sua geometria irregular e por ser uma porção de material removida da peça. Para a formação do cavaco há a ação de uma ferramenta, que entra em contato com o material com geometria e cinemática controladas resultando no cisalhamento do material da peça. Desta forma, durante o corte a ferramenta é submetida a esforços que irão interferir, tanto na qualidade final da peça, quanto no desgaste da ferramenta (Ferraresi, 1970).

Portanto, conhecer o comportamento e os esforços de corte nos processos de usinagem é de suma importância, pois esses fatores influenciam na potência requerida para o corte, na capacidade de obtenção de tolerâncias estreitas, na temperatura de corte e no desgaste da ferramenta (Diniz *et al.*, 2014). Dentre as formas de se controlar ou analisar os processos de usinagem, destacam-se as medições de grandezas elétricas, que são essenciais para determinar as características das fontes de energia necessárias para operações industriais, como a usinagem. Além disso, medir o consumo energético é um processo que pode auxiliar o operador a tomar decisões mais assertivas em termos de seleção de parâmetros, desempenhando um papel crucial na garantia da qualidade da peça final (Viana *et al.*, 2017).

Na usinagem, é comum que as máquinas possuam múltiplos motores além do motor principal. Cada motor gira a uma velocidade diferente e requer, portanto, potências elétricas diferentes, embora saiba-se que a potência principal usualmente é a potência exigida pelo eixo árvore principal que dá a rotação e consequentemente é responsável pela velocidade de corte, para a maioria dos processos. A avaliação das potências, pode auxiliar no conhecimento de como está ocorrendo o corte. Conforme Dan (1990), durante o processo de usinagem, o desgaste da ferramenta de corte faz com que a potência consumida pelo motor principal da máquina aumente. Então, a vida da ferramenta pode ser monitorada através da análise do comportamento dos sinais elétricos do motor da máquina-ferramenta. Este tipo de avaliação torna-se ainda mais interessante em máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado).

Uma fresadora CNC, por exemplo, é uma máquina-ferramenta comandada por computadores. Na fresadora, usualmente “os movimentos em X e Y são dados pela mesa (peça) e o movimento em Z é dado pela ferramenta”. Com ela, é possível fabricar peças complexas, a repetibilidade é maior e a fadiga do operador humano é reduzida (Costa *et al.*, 2006). Para operar, uma máquina CNC precisa de energia elétrica, que inclui corrente elétrica e tensão. A corrente elétrica resulta do movimento de cargas elétricas, medida em *ampere* (A), já a tensão, medida em *joule* (J), envolve trabalho que,

por sua vez, envolve força e distância. De acordo com a equação (1), a diferença de potencial, medida em *volt* (V), é o trabalho, em joules, necessário para mover uma carga de 1 Coulomb de um ponto para o outro.

$$V(\text{volts}) = \frac{W(\text{joules})}{Q(\text{coulombs})} \quad (1)$$

Já a corrente elétrica pode ser calculada utilizando a lei de Ohm, conforme a Equação (2)

$$I(\text{amperes}) = \frac{V(\text{volts})}{R(\text{ohms})} \quad (2)$$

É possível observar que, quanto maior a resistência, menor será a corrente para qualquer tensão aplicada (O'Malley, 2014). E isso pode ser aplicado aos sistemas de medição de usinagem, conforme exemplificado na literatura.

Silva *et al.* (2021) estudaram a corrente elétrica no processo de torneamento do aço ABNT 1045, os autores utilizando um trono torno modelo TVK-1660 ECO da fabricante Veker, com potência de 3,3 kW no eixo árvore. A ferramenta utilizada foi um inserto de metal duro, ISO CCMT 09T304 NN, da fabricante Lamina Technologies, com as seguintes geometrias: ângulo de ponta de 80° e ângulo de folga de 7°. Os autores também variaram os parâmetros de corte, utilizando avanços de 0,1138, 0,1392 e 0,1772 mm/rev, e três profundidades de corte 0,25, 0,50 e 0,75 mm, com duas velocidades de corte: 121,00 e 184,00 m/min. Para monitorar a corrente elétrica, foi utilizado um microcontrolador Arduino ATmega 2560 juntamente com um circuito eletrônico para aquisição de corrente elétrica e um sensor de Efeito Hall não invasivo modelo SCT-013-000, com faixa de medição de 0-100 A, conforme metodologia utilizada por De Paiva e Barbosa (2018). O sensor foi montado em uma das fases do motor elétrico trifásico da máquina-ferramenta, e os sinais coletados pelo sensor foram processados pelo microcontrolador e transferidos para um computador através do programa PLX-DAQ, sendo armazenados em uma planilha Excel, onde os valores de corrente (valor RMS) em função do tempo foram registrados. Foi verificado que o uso sistema de monitoramento com sensor de efeito hall foi capaz de diferenciar os diferentes parâmetros de corte estudados, indicando que este tipo de sistema é adequado para o monitoramento de processos de usinagem.

Já no estudo feito por Oliveira *et al.* (2024), onde a máquina utilizada nos testes de torneamento foi um torno VEKER TVK-1660ECO, com potência de 4,41 kW e avanço automático nos eixos longitudinal e transversal. Os experimentos foram conduzidos tanto a seco quanto com a técnica de Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL). Para a MQL, foi utilizado o fluido Vascomill MMS FA 2, aplicado através do equipamento MAGIC-CUT OS-2, com uma taxa de fluxo de 60 ml/h e pressão de ar comprimido de 0,4 MPa, direcionado à superfície da ferramenta de corte. Diferentes condições de corte, como velocidade e taxa de avanço, foram testadas, mantendo-se a profundidade de corte constante em 1 mm. Cada condição foi avaliada com uma extensão total de usinagem de 1200 mm, estabelecida como critério de parada do teste. No estudo, as variáveis avaliadas foram o desgaste da ferramenta de corte, a rugosidade da superfície usinada, a corrente elétrica da máquina-ferramenta e os cavacos gerados durante o corte. Um microscópio digital Andonstar AD106S foi utilizado para capturar imagens da superfície de folga da ferramenta de corte para análise e medição subsequente do desgaste na face de flanco. A corrente elétrica RMS exigida pela máquina durante os testes foi monitorada com o auxílio de um equipamento composto por um circuito divisor de corrente elétrica, sensores de efeito Hall modelo SCT-013-000, um microcontrolador Atmega 2560 e um computador para processar os dados fornecidos pelo sistema. Os sensores de efeito Hall foram conectados aos cabos de alimentação principais da máquina-ferramenta. Por meio dos testes, concluíram que valores elevados de velocidade de corte e taxa de avanço resultaram em um aumento na corrente elétrica consumida pela máquina-ferramenta e, que a velocidade de corte influencia diretamente a potência de corte. Dessa forma, o aumento desses parâmetros tende a elevar a corrente elétrica utilizada. Já no uso da técnica de Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) conseguiu-se reduzir a corrente elétrica necessária para a máquina nas condições de corte selecionadas, o que sugere que essa técnica diminuiu os esforços de corte, uma vez que a corrente elétrica está diretamente relacionada à intensidade desses esforços.

Dentre os diferentes métodos de análises de sinais, podem-se destacar para uso em laboratórios os de menor custo, onde existe um sensor, e um sistema simples de aquisição. Dentre eles, pode-se destacar o uso de Arduino, que é uma placa de entrada e saída simples e de baixo custo, utilizada para desenvolver projetos, de forma independente ou conectada a softwares no computador. Ele pode ser programado através de um cabo USB, dispensando a necessidade de uma porta serial, o que é vantajoso, pois muitos computadores modernos não possuem portas seriais (Banzi, 2011). Assim, devido à vasta documentação, para projetos similares, e à facilidade de desenvolvimento de projetos, propõe-se a utilização do Arduino para realizar o monitoramento em tempo real da corrente elétrica da máquina CNC, bem como para ler, armazenar e exibir as informações da corrente elétrica.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de medição de corrente elétrica que possa ser aplicado a diferentes máquinas-ferramenta, utilizando Arduino e linguagens de programação de código aberto. Os objetivos específicos incluem: desenvolver um sistema de captação e análise de dados que permita o monitoramento em tempo real da corrente elétrica.

3. METODOLOGIA

Para obter essas grandezas sem modificar a estrutura da máquina, será necessário encontrar sensores e medidores não invasivos que possam monitorar a corrente elétrica e a tensão sem necessidade de modificação ou interferência no equipamento original. Esses sensores devem ser capazes de fornecer dados precisos e em tempo real, garantindo a integridade e o funcionamento contínuo da máquina CNC. Em vista disso, o presente trabalho será dividido em três etapas: a Revisão Bibliográfica, a Concepção de um Sistema de Monitoramento de Parâmetros Elétricos e Projeto do Sistema.

Etapa A - Revisão Bibliográfica:

Esta etapa será realizada durante todo o período do projeto de pesquisa, buscando trabalhos que abordam os temas propostos para este projeto, isto é, processos de usinagem, e monitoramento de parâmetros elétricos em processos de usinagem. Para isso, a pesquisa por artigos científicos, monografias, dissertações e teses, será realizada em diferentes bases de dados como a *IEEE*, *Google Scholar*, *ResearchGate*, *Elsevier* e outros.

Etapa B – Concepção de um sistema para monitoramento de parâmetros elétricos

Nesta etapa será identificada a melhor estratégia para o monitoramento dos parâmetros elétricos das máquinas ferramenta disponíveis no laboratório de Usinagem, do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Tecnologia. Esta etapa é importante, pois pretende-se elaborar um sistema que possa ser utilizado em diferentes máquinas-ferramenta, assim, será necessário o conhecimento das características das diferentes máquinas para permitir que o sistema tenha intervalos de medição, frequência de aquisição e precisão adequados para equipamentos diferentes.

Etapa C – Projeto do sistema

Nesta etapa, sabendo os requisitos, serão levantados os componentes necessários para o desenvolvimento do sistema de medição. Além disso, será desenvolvida a programação necessária para a coleta e análise dos dados.

4. RESULTADOS ESPERADOS

A literatura mostra benefícios ao utilizar diferentes parâmetros para o controle do corte, propiciando peças com melhores acabamentos superficiais, maior controle de tolerâncias dimensionais e geométricas, além de possibilidade de redução nas taxas de desgaste das ferramentas, através de melhorias feitas no processo que puderam ser obtidas a partir do monitoramento, demonstrando a aplicabilidade do projeto e sua importância.

Além disso, há ainda o benefício didático, uma vez que este tipo de projeto permite a aplicação em laboratório, tanto para as pesquisas de iniciação científica e monografia, quanto para demonstrações em aulas de laboratório. Principalmente por se destacar por ser uma alternativa de custo reduzido quando comparado a sistemas de monitoramento comerciais. Por fim, espera-se que a proposta seja capaz de resultar em um projeto que consiga fazer com qualidade e precisão o monitoramento da corrente elétrica em diferentes máquinas ferramenta.

5. CONCLUSÕES

Após o estudo teórico e a elaboração da proposta as seguintes conclusões puderam ser obtidas:

- i. O desenvolvimento de um sistema de medição de corrente utilizando Arduino aparenta ser uma solução prática e econômica para monitorar a corrente elétrica requerida por uma máquina-ferramenta.
- ii. A capacidade de mensurar a corrente em tempo real permite um controle mais preciso da usinagem, com potencial para identificar condições ótimas de corte, seja no sentido de melhorar o acabamento superficial da peça, prever o desgaste da ferramenta ou até mesmo em reduzir o consumo energético do processo.
- iii. O projeto demonstra grande potencial acadêmico para as áreas de pesquisa e ensino prático. As informações obtidas por meio da implementação deste sistema têm potencial para melhorar o desempenho da usinagem.

6. REFERÊNCIAS

- Banzi, M., 2011, “Primeiros passos com Arduino”, Novatec Ed., S. Paulo, Brasil.
- Costa, E. S., Santos, D. J., 2006, “Disciplina: Processos de Usinagem”, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.
- Dan, L., Mathew, J., 1990, “Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning – a Review”. *Int. Journal of Machine Tools and Manufacturing*, Vol.30, N°.4, pp.579-598.
- Silva, T. F. T. S., Oliveira, P. A., Barbosa, M. G. C. B. e De Paiva, R. L., 2021. “Influência Dos Parâmetros De Corte Na Corrente Elétrica Da Máquina-ferramenta No Torneamento Cilíndrico Externo Do Aço Abnt 1045”. XI Congresso Nacional de Engenharia de Fabricação - COBEF 2021, Curitiba-PR. 10.26678/ABCM.COBEF2021.COB21- 0004

Victoria Azucena Ibarra Monteggia, Raphael Lima de Paiva, Déborah de Oliveira.
Avaliação De Metodologia De Implantação De Medição De Corrente Em Máquina CNC De Pequeno Porte Com Uso De Arduino.

- De Paiva, R. L. e Barbosa, M. G. C. B., 2018. “Análise da Medição de Potência Elétrica da Máquina-Ferramenta no Processo de Furação”. Anais do XXII Colóquio de Usinagem, Uberaba, Brasil.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2014, “Tecnologia da usinagem dos materiais”, mm Ed., S. Paulo, Brasil, 242 p.
- Ferraresi, D., 1970, “Fundamentos da usinagem dos metais”, Ed. Edgard Blücher, S. Paulo, Brasil, 755 p.
- O’Malley, J., 2014, “Análise de circuitos”, 2ed., Ed. Bookman, Porto Alegre, Brasil, 373 p.
- Oliveira, P. A., Pereira, L. M. P. M., Monção, R. M., Paiva, R. L. e Barbosa, M. G. C. B., 2024. “Tool wear, surface roughness, electric current, and chip morphology in the turning of AISI 1045 steel with minimum quantity lubrication (MQL) technique”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- Viana, R., Sousa, D. B., Silva, R. G., Oliveira, D. S., Oliveira, J. H., Paulino, E. D. F., Fernandes, L.F., 2017. “Monitoramento da Potência Ativa na Usinagem Utilizando um Sistema de Baixo Custo”. IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF 2017, Joinville-SC.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília e ao CNPq, processo 402730/2023-2, pelo apoio financeiro.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.