

Análise da Similaridade de Cossenos para Monitoramento da Condição da Ferramenta no Processo de Fresamento baseado em Emissão Acústica

Davi Daniel da Silva

Paulo Monteiro de Carvalho Monson

Pedro de Oliveira Conceição Junior

Universidade de São Paulo

davidaniel376@usp.br

Objetivos

Os sistemas de monitoramento da condição da ferramenta (*Tool Condition Monitoring* – TCM) têm ganhado destaque na automação industrial, devido à necessidade de aumentar a eficiência e reduzir custos na manufatura. Esses sistemas utilizam sensores avançados, para captar sinais durante os processos de usinagem, possibilitando a detecção precoce de falhas e a predição da vida útil das ferramentas (ILIYAS et al., 2020).

Neste contexto, o projeto proposto visa explorar o potencial e a viabilidade de aplicar métricas baseadas em distância, como indicadores de condição baseados no método da similaridade de cossenos (*Cosine Similarity* – CS), para analisar os sinais de emissão acústica (*Acoustic Emission* – AE) e monitorar o desgaste de ferramentas durante operações de fresamento. Espera-se aumentar a produtividade, reduzir custos de manufatura, otimizar a vida útil das ferramentas, diminuir riscos de danos durante o fresamento e permitir ações corretivas rápidas.

Métodos e Procedimentos

O método CS foi utilizado para correlacionar os eventos presentes nos sinais de AE com o

desgaste da ferramenta durante o processo de fresamento por meio da Equação 1.

$$CS(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N y_i^2}} \quad (1)$$

Os vetores x e y representam sinais acústicos em condições de referência e após possíveis danos, como desgaste da ferramenta. Os dados utilizados e uma documentação detalhada a respeito do desenvolvimento dos experimentos e da etapa de coleta de dados encontram-se disponíveis em [2]. A **Tabela 1** apresenta as diferentes condições em que a ferramenta foi submetida.

Tabela 1. Casos com diferentes parâmetros de corte e materiais.

Caso	Profundidade de Corte (cm)	Avanço (cm/rev)	Material
1	0,75	0,25	Aço
2	1,5	0,5	Ferro Fundido
3	0,75	0,5	Aço
4	0,75	0,25	Ferro Fundido

Resultados

Neste estudo preliminar, foram utilizados os dados pertencentes ao Caso 1, a condição da ferramenta foi avaliada em determinados níveis de desgaste de flanco. Os sinais provenientes deste ensaio possuem 9.000 pontos, correspondentes ao trajeto completo da ferramenta na peça de trabalho. A similaridade de cossenos foi calculada utilizando o vetor com a ferramenta sem apresentar nenhum desgaste de flanco, em comparação a sinais cujo desgaste apresenta um comportamento progressivo de desgaste. Os resultados gerados para estas amostras aplicadas no cálculo CS, são apresentados pela Figura 1.

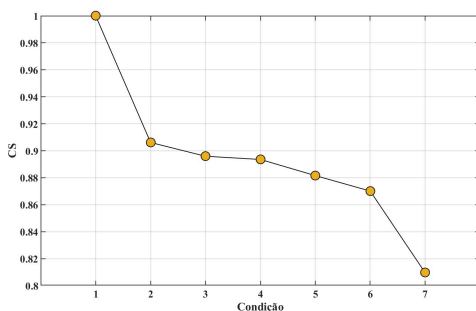


Figura 1: Cálculo da similaridade de cossenos para o caso 1

Para fins comparativos, o grau de desgaste medido da ferramenta para cada uma das amostras do caso 1, é apresentado na Figura 2.

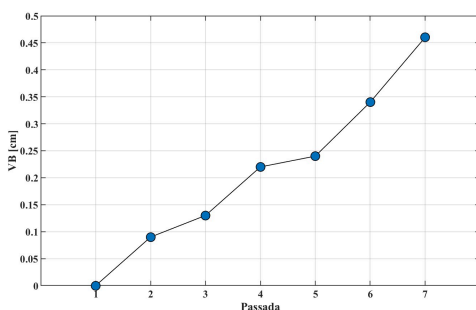


Figura 2: Desgaste da ferramenta para o caso 1

Conclusões

Pode-se inferir de maneira preliminar, que o método CS é um indicador eficaz para o monitoramento de condições, pois acompanhou de maneira equivalente os desgastes medidos em cada situação, uma vez que a ferramenta vai se desgastando a cada passo, e sua similaridade com relação a ferramenta intacta diminui. Porém, é importante ressaltar que, de um ponto a outro, as duas curvas não variam de forma proporcional. Por exemplo, se considerarmos a variação da curva de desgaste da ferramenta entre as passadas 3 e 4, é notório uma inclinação mais acentuada, indicando uma deformação mais abrupta com relação ao estado anterior. Em contraste, a curva CS mostra um declínio suave nesse mesmo período, refletindo uma mudança menos súbita. Isto indica a importância da quantidade de dados para esta metodologia aplicada em análises de monitoramento de condições, uma vez que é necessário um período de amostragem suficientemente longo para que o sinal apresente variações significativas que permitam detectar perdas de similaridade. Isso garante uma quantidade considerável de dados e, conseqüentemente, resultados mais conclusivos do processo em questão.

Agradecimentos

Agradeço à FAPESP pelo apoio financeiro dado a este projeto de processo de número 2023/11275-2.

Referências

- [1] ILIYAS, A. M; YUSOF, Y.; DAUD, M.E. et al. Machine monitoring system: a decade in review. Int J Adv Manuf Technol 108, 3645–3659 (2020).
- [2] AGOGINO, A.; GOEBEL, K. Milling Data Set. NASA Prognostics Data Repository, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA, 2007.