

## Diagnóstico de defeitos em rolamentos por meio do estudo do espectro em frequência.

Eduardo Dias da Silva<sup>1</sup> (IC), Janaina da Cunha Vaz Albuquerque (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá - IEM (Instituto de Engenharia Mecânica)

**Palavras-chave:** Análise de defeitos em rolamentos. Análise do espectro de frequência. Método do envelope.

### Introdução

e a sistemática da pesquisa.

A análise de defeitos em elementos de rolamentos desempenha um papel crucial na manutenção preditiva e na garantia da eficiência e confiabilidade de máquinas e equipamentos industriais. Compreender e identificar com precisão os defeitos que afetam esses componentes essenciais é fundamental para evitar paralisações não programadas e reduzir os custos de manutenção. Nesse contexto, a análise do espectro de frequência pelo método do envelope surge como uma ferramenta poderosa e avançada para diagnosticar defeitos em rolamentos de maneira eficaz e precoce.

Este estudo se concentra na análise detalhada dos defeitos nos elementos do rolamento, empregando a técnica do envelope do espectro de frequência. O método do envelope é uma abordagem sofisticada que permite a detecção de defeitos incipientes em rolamentos, como falhas no elemento rolante, gaiola ou pista, bem como a análise de defeitos em estágios avançados, como desgaste excessivo, impactos e vibrações anormais. Ao analisar o envelope do espectro de frequência das vibrações geradas durante a operação, é possível identificar assinaturas de defeitos específicos, que se manifestam como picos distintos no espectro, relacionados às frequências características dos rolamentos e dos elementos em mau estado.

Neste estudo, exploraremos em profundidade o método do envelope do espectro de frequência como uma ferramenta poderosa para diagnóstico de defeitos em rolamentos. Abordaremos os princípios teóricos subjacentes a essa técnica, os procedimentos de aquisição de dados necessários e as técnicas de processamento de sinal aplicadas para extrair informações significativas.

### Metodologia

A metodologia adotada para conduzir este estudo abrangente sobre a análise de defeitos nos elementos de rolamentos, por meio da análise do espectro de frequência utilizando o método do envelope, envolveu uma série de etapas cuidadosamente planejadas para garantir a eficácia

Primeiramente, realizou-se a coleta de dados de vibração nos rolamentos que estavam em perfeito estado, uma etapa crítica que exigiu uma seleção criteriosa dos rolamentos sob análise. Esse processo envolveu uma avaliação minuciosa das características construtivas dos rolamentos, uma vez que seria necessário induzir defeitos controlados neles posteriormente. A instalação estratégica de acelerômetros nos mancais dos rolamentos da bancada experimental foi realizada, com os sensores posicionados na direção radial dos rolamentos para captar com precisão os picos de vibração causados pelo defeito. Na etapa de pré-processamento dos dados, os sinais de vibração foram transformados do domínio do tempo para o domínio da frequência por meio de uma rápida transformada de Fourier. Isso permitiu uma análise espectral detalhada dos sinais, fornecendo informações cruciais sobre o comportamento das máquinas. Durante esse processo, foi realizada uma cuidadosa filtragem para eliminar frequências irrelevantes e ruídos de fundo que poderiam prejudicar a precisão dos resultados, garantindo assim que a análise se concentrasse apenas nas informações relevantes para a detecção de defeitos.

A etapa seguinte envolveu a extração do envelope do espectro de frequência, com o objetivo de realçar as componentes de baixa frequência que frequentemente indicam defeitos incipientes. Essa fase foi conduzida com precisão, utilizando a técnica de demodulação de Hilbert para calcular o envelope de forma precisa. Isso permitiu a identificação de modulações e padrões no espectro que poderiam servir como indicativos de defeitos nos elementos dos rolamentos.

No processo de identificação das assinaturas de defeitos, a análise concentrou-se na detecção de picos ou modulações no espectro de frequência que sugerissem a presença de defeitos nos elementos dos rolamentos. Além disso, foram identificadas e relacionadas as frequências características dos elementos dos rolamentos, incluindo a Frequência de giro da gaiola ou do conjunto de elementos rolantes (Fundamental Train Frequency - FFT). Essa frequência FFT desempenhou um papel fundamental na

detecção e diagnóstico de problemas na gaiola e em alguns dos elementos rolantes.

Por fim, para estabelecer critérios de diagnóstico sólidos, os resultados obtidos foram minuciosamente comparados com um espectro de frequência de referência de rolamentos em perfeitas condições. Essa abordagem permitiu a definição de critérios de diagnóstico robustos com base nas diferenças identificadas entre os espectros analisados. Isso desempenhou um papel crucial na avaliação do estado de saúde dos rolamentos e na identificação de defeitos, contribuindo para a manutenção preditiva eficaz e a prevenção de paradas não planejadas em sistemas industriais.

### Resultados e discussão

Para determinar as frequências determinantes de defeitos para os defeitos na gaiola devemos recorrer a seguinte equação:

$$f_{\varepsilon} = \frac{f_{pe}}{2} \left( 1 + \frac{D \cos \beta}{d} \right) \quad (1)$$

Onde:

D = diâmetro da esfera;

d = diâmetro primitivo;

f<sub>pe</sub> = frequência da pista externa;

β = ângulo de contato;

Para este caso os dados eram:

D = 0,00636 m

d = 0,031 m

f<sub>pe</sub> = 2000 rpm (33.3 Hz)

β = 0°

No âmbito deste estudo, empregamos um rolamento SKF 6004 como objeto de pesquisa. Utilizando tanto os dados disponíveis no catálogo da SKF quanto aqueles coletados durante experimentos laboratoriais, conseguimos identificar a frequência determinante de falha para este defeito específico neste tipo de rolamento, a qual se aproxima de 20 Hz.

Através da análise detalhada desses dados e considerando as características do rolamento SKF 6004, determinamos que a frequência em torno de 20 Hz desempenha um papel crucial na identificação de falhas. Essa informação foi essencial para a configuração de nosso sistema de análise de espectro de frequência, pois direcionou nossa atenção para a faixa de frequência relevante.

Portanto, a partir dessa descoberta, concentramos nossos esforços na análise dos dados de frequência nessa faixa e em suas múltiplas harmônicas, o que nos permitiu identificar com precisão os picos de aceleração e, conseqüentemente, detectar possíveis defeitos na gaiola do rolamento.



Figura 1 – Envelope do espectro de frequência do ensaio com o rolamento com defeito na gaiola induzido.

Como podemos observar no gráfico, há uma série de picos de aceleração que começam a aparecer a partir de uma frequência de 20 Hz. Esses picos se repetem em intervalos de 20 Hz, o que é um indicativo importante. Essa repetição sugere a presença de frequências fundamentais e suas harmônicas.

Esses picos no espectro do envelope são significativos, pois estão relacionados com a frequência determinante de falhas em defeitos na gaiola do sistema. A presença dessas frequências e suas múltiplas harmônicas pode ser um indicativo claro de um defeito induzido no sistema.

Para melhorar a clareza dos dados e destacar esses picos, foram aplicados filtros passa-baixa e passa-alta nos dados de frequência. Isso ajudou a atenuar os ruídos presentes nos dados brutos, tornando os picos relevantes para a identificação das frequências desejadas muito mais evidentes.

Em resumo, a análise do espectro do envelope, com o auxílio da transformada de Hilbert e os filtros de frequência, proporciona uma maneira eficaz de identificar e caracterizar defeitos na gaiola, tornando mais fácil a detecção de problemas no sistema.

### Conclusões

Em nossa pesquisa, focamos na identificação da frequência determinante de falha associada a defeitos na gaiola de rolamentos SKF 6004. Com base em dados de catálogo da SKF e medições laboratoriais, determinamos que essa frequência crítica estava em torno de 20 Hz.

A análise espectral revelou padrões de picos de aceleração ocorrendo em intervalos de 20 Hz, reforçando a importância da frequência determinante e suas

harmônicas na detecção de defeitos na gaiola. A aplicação de técnicas de filtragem, incluindo filtros passa-baixa e passa-alta, contribuiu para uma representação mais clara desses picos.

Concluimos que a análise espectral, aliada a estratégias de filtragem eficazes, é uma abordagem valiosa para detectar defeitos na gaiola de rolamentos. Essas descobertas têm o potencial de aprimorar a manutenção preditiva e aumentar a confiabilidade de sistemas mecânicos que dependem desses componentes.

### **Agradecimentos**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha orientadora, que desempenhou um papel fundamental no sucesso deste projeto de pesquisa. Seus insights e orientações foram inestimáveis e contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Além disso, desejo estender meus agradecimentos à Universidade Federal de Itajubá, que oferece não apenas um ambiente acadêmico de alta qualidade, mas também uma infraestrutura de laboratórios excepcionais. Esses recursos foram essenciais para a condução eficaz de todos os experimentos e análises necessários para este estudo. A colaboração entre a orientadora e a universidade foi fundamental para o progresso da pesquisa, e estou extremamente grato por ter tido acesso a esses recursos excepcionais.

### **Referências**

1. CUURRECH, Judle; GAUDEL, Mark. Envelope analysis: the key to rolling-element bearing diagnosis. *Bruel & Kjrer*,
2. Randall, R. B. (2011). Rolling element bearing diagnostics: a tutorial. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(2), 485-520.
3. McFadden, P. D. (1986). A comparison of some envelope analysis techniques for the detection of bearing faults. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 1(4), 295-311.