



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

## Detecção de defeitos no rolamento de um motor de indução pelas análises de envelope e cepstral do sinal de vibração

### *Detection of bearing faults in an induction motor by envelope and cepstral analysis of the vibration signal*

Matheus Alves da Silva\*, Marcelo Favoretto Castoldi<sup>†</sup>,  
Alessandro Goedtel<sup>‡</sup>

#### RESUMO

As peças de um motor de indução estão sujeitas ao surgimento de defeitos que podem acarretar prejuízos, e os defeitos mais frequentes surgem nos rolamentos. Por causa disso, é essencial um monitoramento adequado do motor de indução, identificando a presença de defeitos no rolamento e planejar a intervenção para manutenção antes que ocorra uma parada emergencial. Portanto, este trabalho teve como objetivo, identificar os defeitos em cada localidade do rolamento de um motor de indução, com exceção da gaiola, por meio das análises de envelope e cepstral do sinal de vibração no MATLAB, os quais são métodos desenvolvidos e aplicados para os diagnósticos de engrenagens e rolamentos. Os sinais de vibração são do banco de dados da *Case Western Reserve University*. Por meio dos resultados, no método do envelope não foi possível detectar defeito na esfera do rolamento, já pela análise cepstral, todos os defeitos foram identificados. Com isso, conclui-se que a análise cepstral é um método funcional para o diagnóstico do rolamento do motor de indução, sendo preferível ao invés da análise de envelope para esse caso.

**Palavras-chave:** análise de envelope, cepstrum, rolamento, motor de indução, detecção de falhas

#### ABSTRACT

The parts of an induction motor are subject to the appearance of faults that can cause damage, and the most frequent faults appear in the bearings. For this reason, it is essential to monitor the condition of the induction motor properly, identify the presence of faults in the bearing and plan the intervention of the induction motor for maintenance before an emergency stop occurs. Therefore, this work aimed to identify faults in each location of the bearing of an induction motor, except the cage, through the envelope and cepstral analysis of the vibration signal in MATLAB, which are methods developed and applied to gear and bearing diagnostics. Vibration signals are from the Case Western Reserve University database. Through the results, in the envelope method, it was impossible to detect faults in the bearing sphere, while by cepstral analysis, all faults were identified. Thus, it is concluded that the cepstral analysis is a functional method for the diagnosing induction motor bearing, being preferable to the envelope analysis for this case.

**Keywords:** envelope analysis, cepstrum, bearing, induction motor, fault detection

\* Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; [matheussilva.1999@alunos.utfpr.edu.br](mailto:matheussilva.1999@alunos.utfpr.edu.br)

<sup>†</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio; [marcastoldi@utfpr.edu.br](mailto:marcastoldi@utfpr.edu.br)

<sup>‡</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; [agoedtel@utfpr.edu.br](mailto:agoedtel@utfpr.edu.br)



## 1 INTRODUÇÃO

O motor de indução (MI) é o mais usado entre os motores elétricos, devido ao seu baixo custo, baixo consumo de energia elétrica e versatilidade, tendo aplicações domésticas e principalmente industriais. No entanto, assim como outros equipamentos, o MI está sujeito ao surgimento de defeitos, os quais vão se agravando com o tempo. Com isso, a operação do MI pode ser seriamente prejudicada, ocasionando perdas na produção e prejuízos substanciais. Por isso, é essencial que haja um monitoramento apropriado do MI para diagnosticar os defeitos, buscando reduzir os danos, os números de manutenções não planejadas e de peças sobressalentes nos estoques (KANOVIĆ et al., 2013; PANDARAKONE; MIZUNO; NAKAMURA, 2018).

Segundo Pandarakone, Mizuno e Nakamura (2018), os componentes que mais apresentam defeito nos motores de indução, são os rolamentos, seguidos pelo estator e rotor, e desses componentes, o rolamento normalmente é diagnosticado por análise de vibração. Entre as técnicas de análise de vibração encontradas para detectar defeitos no rolamento, e conseqüentemente, evitar maiores danos no equipamento e perda de produção, está a análise espectral, pela qual identifica-se a frequência da vibração gerada pelo defeito no rolamento. Porém, devido a outras fontes de vibração e ao ruído, as frequências dos defeitos no rolamento de uma máquina rotativa podem ser difíceis de serem identificadas, e devido a isso, outras técnicas foram desenvolvidas, como a análise de envelope (MESQUITA et al., 2002; STEPANIC; LATINOVIC; DJUROVIC, 2009). Teng et al. (2016) apresenta a aplicação da análise cepstral e espectrograma de envelope multiescala para detectar e quantizar os defeitos no rolamento de uma turbina eólica de acionamento direto. Métodos alternativos de identificação de defeitos nos rolamentos do motor de indução são propostos por Bazan et al. (2021), Godoy et al. (2020) e Lopes et al. (2017) por meio de monitoramento com sensores de corrente e reconhecimento de padrões.

Como motivação da realização desse artigo, tem-se o seguinte questionamento, com a aplicação da análise de envelope e cepstral, podem ser identificados os defeitos no rolamento de um MI? Partindo disso, este trabalho tem como objetivo, aplicar a análise de envelope e cepstral para diagnosticar o rolamento de um MI, identificando a presença de defeito.

## 2 MATERIAL E PROCEDIMENTOS

Os sinais de vibração que foram analisados, são do banco de dados de rolamento da *Case Western Reserve University (CWRU)*, os quais foram obtidos por meio de acelerômetros instalados em um MI de 2 hp, em diversos ensaios com rolamentos normais e defeituosos. A Figura 1 ilustra a bancada de ensaio da CWRU, em que o MI se encontra à esquerda, no meio há um transdutor e à direita está um dinamômetro.

**Figura 1 - Bancada de ensaio do motor de indução da CWRU**



Fonte: Adaptado de CWRU (2021)



Os sinais de vibração do MI a plena carga analisados, foram os obtidos pelo acelerômetro do lado da saída do eixo nas situações com defeito na pista interna, externa e na esfera do rolamento do mesmo lado. Cada situação foi analisada separadamente no *software* MATLAB. A frequência de amostragem foi de 12 kHz e a velocidade de rotação de 1750 rpm.

O defeito implementado por meio de eletroerosão nos rolamentos é de ponto único com 0,53 cm de diâmetro. No caso da pista externa, o defeito está na posição das 6 horas.

## 2.1 Frequências Características dos Defeitos no Rolamento

Com as informações sobre os rolamentos no banco de dados da CWRU, as frequências características dos defeitos (FCD) foram calculadas e estão apresentadas na Tab. 1, mas Mesquita et al. (2002, p. 1941) afirma que leves desvios podem ocorrer dos valores obtidos, os quais devem ser considerados uma aproximação dos valores reais.

**Tabela 1 – Frequências características dos defeitos do rolamento**

Localidade do defeito	Frequência (Hz)
Pista interna	157,94
Pista externa	104,55
Esfera	137,47

Fonte: Autoria própria (2021)

## 2.2 Análise de Envelope

Devido a vibração gerada pelo defeito no rolamento, a ressonância da estrutura da máquina é excitada em frequências elevadas, surgindo a frequência de ressonância com bandas laterais. O que ocorre, é uma modulação no sinal, em que a FCD pode ser modulada na frequência da rotação e modular em amplitude a frequência de ressonância (MESQUITA, et al., 2002).

De acordo com Mesquita et al. (2002), no processo digital, por meio da Transformada de Hilbert no sinal, após a aplicação de um filtro passa-banda em torno da frequência de ressonância da máquina para remover as frequências de vibração de outras fontes, o sinal é demodulado, obtendo o envelope do sinal. Se houver defeito, a FCD e seus harmônicos estarão presentes no espectro de frequências do envelope do sinal. A Figura 2 ilustra as etapas da aplicação dessa técnica.



Para obter o espectro, foi utilizado a função da *Fast Fourier Transform* (FFT), a qual está disponível no MATLAB. O filtro passa-banda foi projetado com o uso da função *fir1*, com banda de passagem entre 2000 e 5000 Hz.

### 2.3 Análise Cepstral

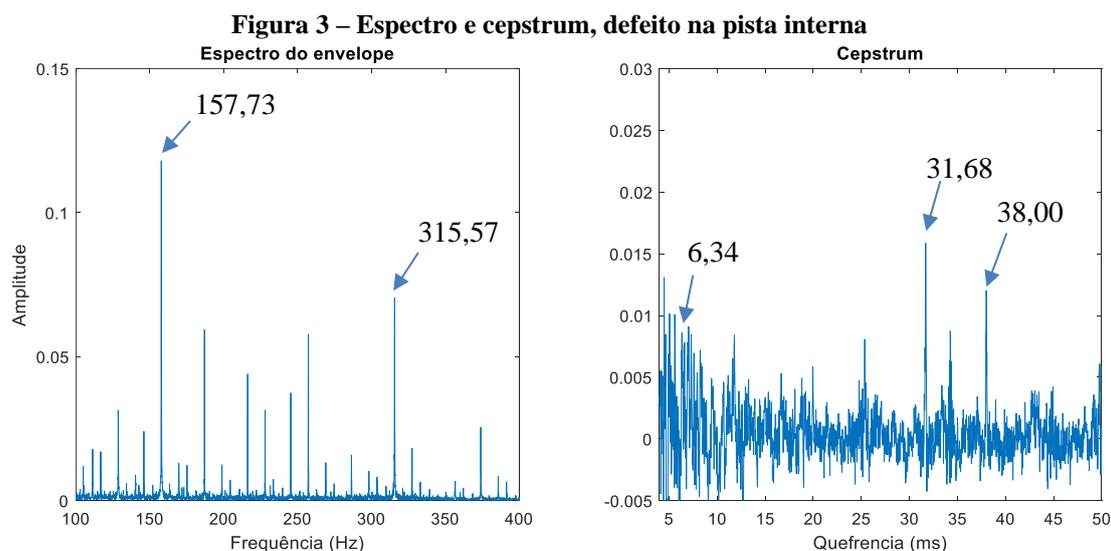
Conforme Teng et al. (2016), cepstrum é a Transformada Inversa de Fourier do espectro em escala logarítmica, e por meio desta ferramenta, obtém-se o intervalo médio entre várias harmônicas, distinguindo as frequências com precisão. É reconhecida como uma ferramenta poderosa para detectar defeitos em engrenagens e rolamentos. Matematicamente, é definida pela Eq. (1).

$$C(\tau) = F^{-1}[\log|X(f)|] \quad (1)$$

onde  $X(f)$  é a Transformada de Fourier do sinal,  $F^{-1}$  representa a Transformada Inversa de Fourier e  $\tau$  é a quefrência.

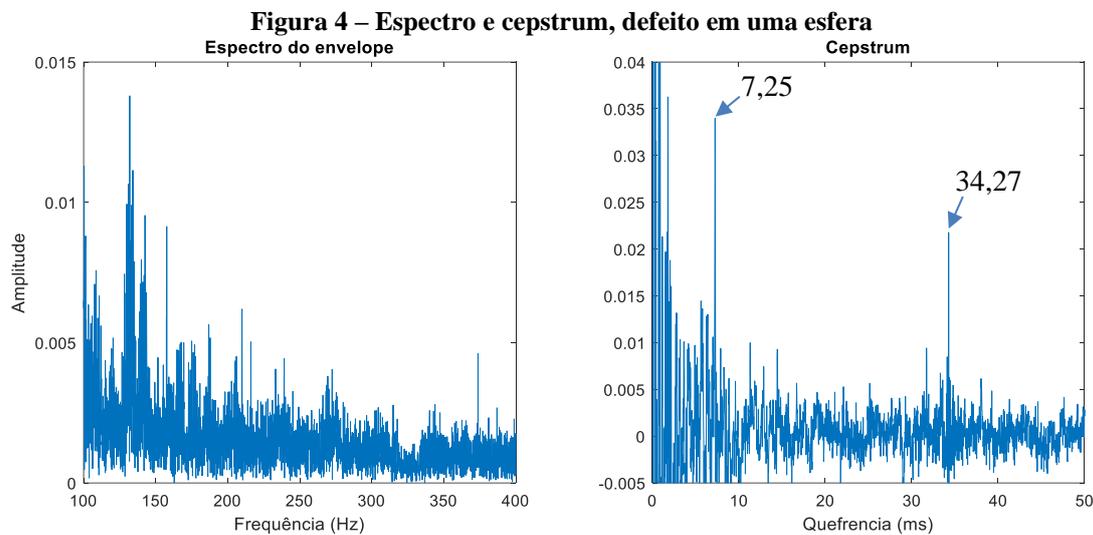
### 3 RESULTADOS

Primeiramente, foi obtido o espectro do envelope e o cepstrum do sinal de vibração do ensaio com o rolamento com defeito na pista interna. Na Figura 3 pode ser visualizado os gráficos obtidos.



Fonte: Autoria própria (2021)

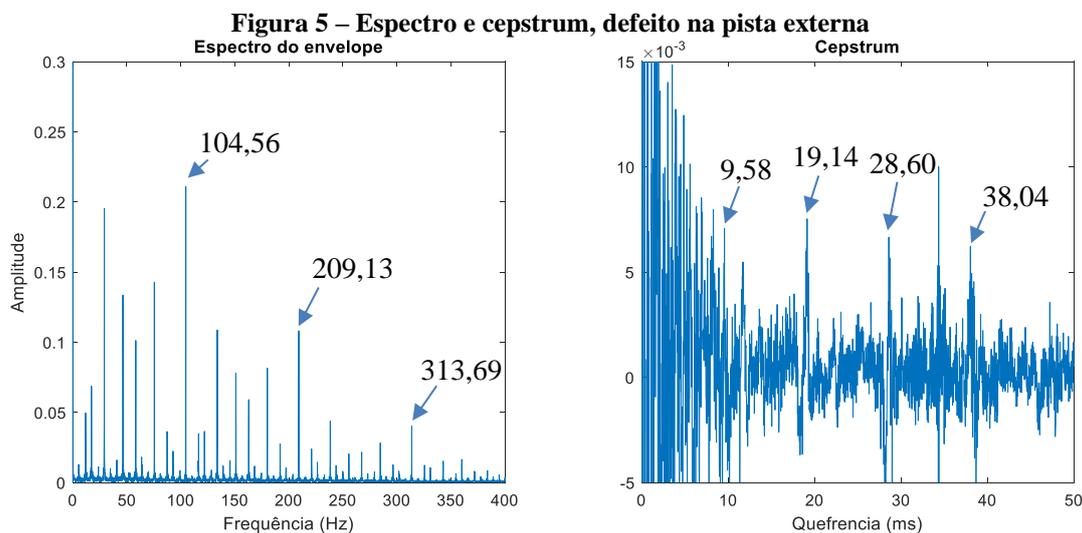
No espectro do envelope, há a presença da FCD da pista interna e sua segunda harmônica, indicando a presença do defeito. Já no cepstrum, a quefrência da FCD da pista interna é o inverso da própria FCD, em torno de 6,34 ms, onde não há um pico elevado, mas aparecem picos em seus múltiplos em 31,68 e 38,00 ms. Portanto, por ambos os métodos, pode ser identificado a presença de defeito na pista interna do rolamento do MI. Na Figura 4 estão ilustrados o espectro e cepstrum obtidos do sinal de vibração do ensaio com o rolamento com defeito em uma das esferas.



Fonte: Autoria própria (2021)

No espectro do envelope, a amplitude da FCD da esfera está menor que de outras frequências que não são de interesse desse estudo, também não foi encontrada a presença de suas harmônicas, logo, por esse método não foi possível diagnosticar o rolamento. No cepstrum, há picos em 7,25 e 34,27 ms, que indicam a presença do defeito na esfera e da frequência de rotação do rotor, respectivamente.

Por último, na Figura 5 estão o espectro do envelope e cepstrum, para o caso com defeito na pista externa.



Fonte: Autoria própria (2021)

Para o caso com defeito da pista externa, no espectro do envelope há a fundamental, segunda e terceira harmônica da FCD, indicando claramente a presença do defeito. E pelo cepstrum, apesar de queffrências vizinhas ao redor de 9,58 ms, a indicação do defeito pode ser confirmada pelos múltiplos da queffrência da FCD em 19,14, 28,70 e em 38,04 ms.



## 4 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos nas análises, pode-se afirmar que pela análise do envelope, não há como identificar defeito nas esferas do rolamento do MI com as especificações citadas nesse trabalho, pois não ocasionou elevação considerável na amplitude da frequência de ressonância da estrutura do MI. Porém, para detectar defeitos na pista interna e na externa, é um método funcional. Com a análise cepstral para este caso, foi possível diagnosticar o rolamento do MI para todos os defeitos considerados, sendo, portanto, um método mais adequado que a análise de envelope para o diagnóstico do rolamento do MI deste caso.

O defeito no rolamento é algo que surge e vai se agravando com o tempo até ocasionar a parada da máquina, logo, para a manutenção de uma empresa que busca aproveitar o tempo de vida útil dos componentes de modo a ter menos sobressalentes no estoque e menor número de intervenções, recomenda-se o estudo da aplicação dessas análises em diferentes estágios de evolução dos defeitos no rolamento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação por abrirem essa oportunidade.

## REFERÊNCIAS

- BAZAN, G. H. et al. Mutual Information and Meta-Heuristic Classifiers Applied to Bearing Fault Diagnosis in Three-Phase Induction Motors. **Applied Sciences-Basel**, v. 11, n. 1, p. 314-331, 30 dez. 2021.
- CASE WESTERN RESERVE UNIVERSITY. Bearing Data Center: Seeded fault test data, 2021. Disponível em: <<https://csegroups.case.edu/bearingdatacenter/pages/apparatus-procedures>>. Acesso em: 3 out. 2021.
- GODOY, W. et al. Estimation of Bearing Fault Severity in Line-Connected and Inverter-Fed Three-Phase Induction Motors. **Energies**, v. 13, n. 13, p. 3481-3496, jul. 2020.
- KANOVIC, Z. et al. Induction Motor Broken Rotor Bar Detection Using Vibration Analysis – A Case Study. **IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)**, Valencia, 24 out. 2013.
- LOPES, T. D. et al. Bearing fault identification of three-phase induction motors bases on two current sensor strategy. **Soft Computing**, v. 21, p. 6673-6685, 2017.
- MESQUITA, A. L. A. et al. Detecção de falhas em rolamentos usando transformadas tempo-frequência - Comparação com análise de envelope. **Mecânica Computacional**, Santa Fe, v. XXI, p. 1938-1954, out. 2002.
- PANDARAKONE, S. E.; MIZUNO, Y.; NAKAMURA, H. Evaluating the progression and orientation of scratches on outer-raceway bearing using a pattern recognition method. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Nagoya, 3 maio 2018.
- STEPANIC, P.; LATINOVIC, I. V.; DJUROVIC, Z. A new approach to detection of defects in rolling element bearings based on statistical pattern recognition. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, 27 fev. 2009. 91-100.
- TENG, W. et al. Detection and quantization of bearing fault in direct drive wind turbine via comparative analysis. **Hindawi Publishing Corporation**, Beijing, 3 abr. 2016.