http://journal.unoeste.br/index.php/ce/index
DOI: 10.5747/ce.2021.v13.n3.e365
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 16/08/2021 Revisado: 17/08/2021 Aceito:25/08/2021

ANÁLISE DINÂMICA EXPERIMENTAL DE ROTORES DESBALANCEADOS

Experimental Dynamic Analysis of Unbalanced Rotors

Thales Henrique Gomes Déa[1], Rodrigo Francisco Borges Lourenco[2], Rafael de Oliveira Silva[1], Michael Dowglas de Gois Silva[2], Fábio Roberto Chavarette[2], Roberto Outa[3]

[1]Universidade de Rio Verde, Rio Verde – GO, [2]Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Presidente Prudente, SP, [3]Faculdade de Tecnologia De São Paulo - FATEC-SP. E-mail: rodrigoborges@unirv.edu.br

RESUMO – Máquinas rotativas em movimento, habitualmente costumam produzir esforços dinâmicos que se difundem para as extremidades que as suportam, tais esforços podem levar a reações desvantajosas ao funcionamento da máquina, bem como o desbalanceamento ou desalinhamento que podem causar danos ao próprio conjunto eixo-rotor ou a elementos diretamente ligados a ele. O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema mecânico e experimental que possibilite a realização dos ensaios e aquisição de dados de uma máquina rotativa e construir um algoritmo computacional para gerar diagramas de amplitude e velocidade em função do tempo e comparar o comportamento dinâmico de uma bancada vibracional, em condição normal e desbalanceada.
Palavras-chave: Analise de rotores, Maquinas rotativas, Rotores desbalanceados.

ABSTRACT – Rotating machines in motion usually produce dynamic forces that diffuse to the ends that support them, such efforts can lead to disadvantageous reactions to the operation of the machine, as well as unbalance or misalignment that can damage the shaft-rotor assembly or the elements directly linked to it. The objective of this project is to develop a mechanical and experimental system that enables the testing and data acquisition of a rotating machine and build a computational algorithm to generate amplitude and velocity diagrams as a function of time and compare the dynamic behavior of a vibrational bench, in normal and unbalanced condition.
Keywords: Analysis of rotors, rotating machines, unbalanced rotors.

1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial do século 18 (XVIII) provocou muitas mudanças no transporte, impulsionada por muito vapor, também provocou mudança nas comunicações e fabricações dos produtos. Mas levou algum tempo até que os motores e geradores elétricos desempenhassem um papel importante nesse cenário, substituindo a força do vapor e dos músculos por um mundo totalmente diferente. Da mesma forma como

aconteceu com inúmeras invenções, o desenvolvimento do motor e dos geradores elétricos, foi em grande parte um esforço coletivo de muitos pesquisadores, cientistas e inventores, que ao longo de muitos anos, construíram as bases necessárias para chegar-se a um motor realmente funcional, e desde então, vem sendo atualizado e melhorado até os dias atuais (DOPPELBAUER, 2011).

Por ser o principal fornecedor de torque e movimento a partir de uma força alimentadora (combustível), os motores são amplamente utilizados nas indústrias e estão presentes (direto ou indiretamente) no cotidiano da maioria das pessoas, eles movimentam desde grandes turbinas em hidrelétricas até pequenos brinquedos infantis. Existem motores voltados para cada tipo de aplicação: nas indústrias, para baixa e alta tensão, equipamentos comerciais e residenciais, e motores para correntes contínuas. Neste vasto mundo de motores existem alguns outros tipos não tão comuns e de aplicações mais leves, que funcionam de maneira similar aos demais, são eles: Motor de passo, Servomotor, Motor universal e Motor Linear (DE OLIVEIRA, 2009)

Devida a sua vasta aplicação, principalmente nas indústrias, os motores de indução elétrica estão expostos a uma grande variedade de condições e ambientes, que podem resultar em diversas falhas, que se não detectadas e corrigidas rapidamente, podem proporcionar desgaste excessivo ou até mesmo quebra do equipamento. Embora essas falhas existam com frequência, até os anos sessenta não havia nenhum documento estatístico oficial que disponibilizasse a fabricantes e usuários alguma referência sobre isso, foi apenas em 1962 que o americano David B. Dickson publicou o primeiro estudo sobre a confiabilidade de equipamentos elétricos em instalações industriais, tal trabalho foi reconhecido, atualizado e republicado pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) em 1974. Neste trabalho, concluiu-se que os defeitos de fabricação e manutenção inadequada eram as principais causas de falhas em motores elétricos, tendo como área mais afetada por essas falhas o isolamento dos enrolamentos e os mancais (BRITO, 2002).

Como no corpo humano, as maquinas rotativas quando possuem falhas, apresentam sintomas que, geralmente, afetam os modos de vibrar da estrutura. Essas vibrações, podem ser medidas através de sensores e analisadas graficamente por softwares integrados. Com isso, é possível averiguar-se qual falha deu origem aquela vibração, como por exemplo o desalinhamento angular e paralelo, que são caracterizados por altas vibrações axiais (medidas no sentido longitudinal em relação ao eixo) e radiais (medida no sentido do raio do eixo) respectivamente, e o desbalanceamento, caracterizado pela predominância de uma alta amplitude que cresce de acordo com o quadrado da velocidade (amplitude = velocidade^2) e pode ser corrigida simplesmente com um acréscimo de um peso de balanceamento na direção oposta ao desbalanceamento, tornando o centro de gravidade do eixo mais próximo de zero (DIAS, 2009).

Falhas em rotores, na maioria das vezes, são causadas por tensões sortidas e envolvem formas diversificadas de atuação. Bonnett e Soukup (1988), classificaram os fatores causadores dessas tensões em seis grupos, que são: Térmicos, Magnéticos, Mecânicos, Dinâmicos, Residuais e Ambientais.

Genericamente, para diagnosticar essas falhas, é feita a comparação das leituras de grandezas físicas do equipamento em condições normais de funcionamento (sem falhas), com os dados coletados em tempo real. Caso haja divergência dos dados, é possível a identificação, quantificação e solução do defeito, evitando-se a propagação da falha (LOURENÇO, 2020).

Existem diversas técnicas, baseadas em reconhecimento de padrões, que podem ser utilizadas no diagnóstico e quantificação de falhas. Segundo Lourenço *et al.* (2021), o monitoramento continuo de uma estrutura pode ser feito através da utilização de sensores (integrados ou não), o que permite a detecção e rastreamento de danos e possibilita a antecipação de falhas..

Os analisadores modernos de sinais são baseados em microcomputadores dedicados, suas principais funções são: mostrar o formato da onda dos sinais; mostrar as frequências através do espectro; medir os níveis em unidades corretas e memorizar esses valores para processo posterior. O funcionamento desses equipamentos são baseados no algoritmo da Transformada Rápida de Fourier, que é uma ferramenta matemática que permite analisar funções não periódicas e converter um domínio para outro (SILVA, 2012; BRITO, 2002).

2. OBJETIVOS

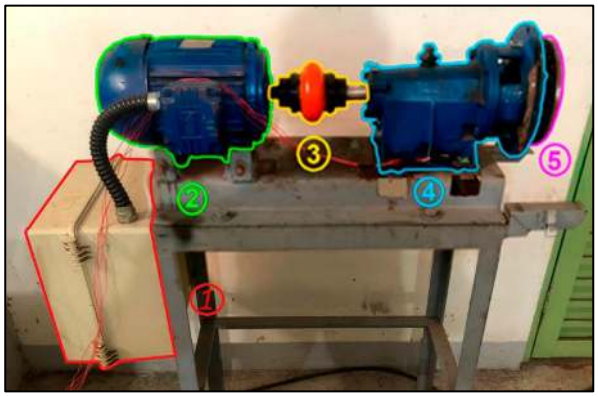
Desenvolver um sistema de monitoramento e detecção de danos em estruturas rotativas, através da análise computacional do comportamento dinâmico de rotores, utilizando-se dos conceitos da Transformada Rápida de Fourier (FFT).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se uma bancada experimental (figura 1), construída com base no projeto de Heney Homan Jeffcott (1919). A bancada é composta pelos equipamentos descritos a seguir:

1- Inversor de frequência Schneider Altivar 312 com alternância de 0 a 60 Hz;
2- Motor elétrico de 2 HP e 60 Hz de frequência;
3- Acoplamento flexível Rex Omega (Standard);
4- Mancal de bomba d'agua Mark adaptado;
5- Disco de aço com 48 furos divididos em duas camadas;

Figura 1. Bancada Experimental Respectivamente Enumerada.



Fonte: Os autores.

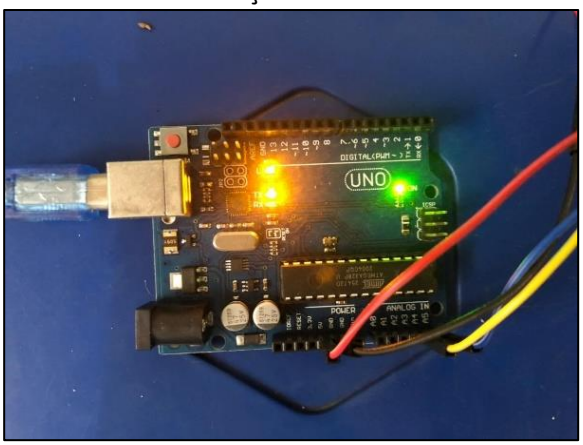
Figura 2. Sensor Acelerômetro MPU6050 utilizado na coleta de informações.



Fonte: Os autores.

Para coleta de dados, utilizou-se um sensor acelerômetro MPU6050 de três eixos, na posição indicada na figura 2 e um microcontrolador modelo Uno (Figura 3).

Figura 3. Microcontrolador modelo UNO utilizado na coleta de informações.



Fonte: Os autores.

Na etapa de aquisição e monitoramento de dados, foram realizados dois testes, um deles com o disco livre de desbalanceamento (figura 4) e outro com duas medidas de desbalanceamento (conjunto composto por 2 parafusos, porcas e arruelas.), com 10 g cada, nas posições indicadas na figura 5. Nesses testes foram observados o comportamento da estrutura em três frequências, sendo elas 10Hz, 30Hz e 60Hz.

Figura 4. Configuração de distribuição das massas na primeira medida.



Fonte: Os autores.

Figura 5. Configuração de distribuição das massas na segunda medida.



Fonte: Os autores.

Para cada frequência foram coletados quatro mil sinais de aceleração nos três eixos e, posteriormente, afim de filtrar os sinais, realizou-se uma média quadrática. Aplicou-se então a transformada rápida de Fourier (FFT), e os resultados no domínio da frequência estão apresentados na seção seguinte.

4. RESULTADOS

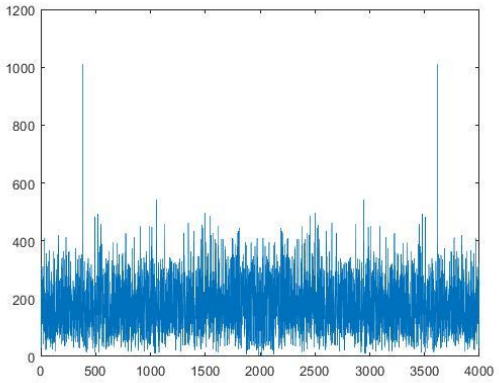
Para análise e processamento dos dados, como ferramenta computacional, utilizou-se o software Octave. Foram gerados gráficos que representam o comportamento dinâmico do modelo experimental utilizado em três frequências distintas, escolhidas de forma a representar seu comportamento em baixa, média e alta frequência (10, 30 e 60 Hz).

As figuras 6 e 7 representam a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para a frequência de 10 Hz, nas configurações do sistema balanceado (sem adição de massa no disco) e desbalanceado (com adição de massa no disco), respectivamente.

Nota-se que os picos de amplitude na figura 6, se apresentam de forma ordenada e abaixo de 400.

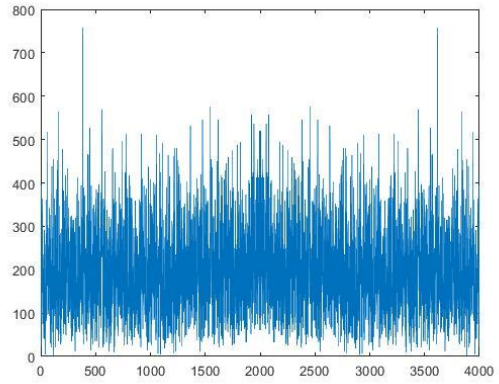
Na figura 7, os picos se apresentam descentralizados e com maiores amplitudes, com valores aproximados de 500, ou seja, com aumento de aproximadamente 25%.

Figura 6. Gráficos comportamentais resultantes dos testes com frequência de 10Hz livre de desbalanceamento.



Fonte: Os autores.

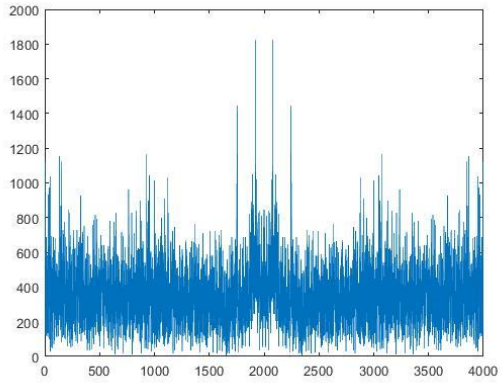
Figura 7. Gráficos comportamentais resultantes dos testes com frequência de 10Hz desbalanceado.



Fonte: Os autores.

As figuras 8 e 9 representam a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para a frequência de 30 Hz, nas configurações do sistema balanceado (sem adição de massa no disco) e desbalanceado (com adição de massa no disco), respectivamente.

Figura 8. Gráficos comportamentais resultantes dos testes com frequência de 30Hz livre de desbalanceamento.



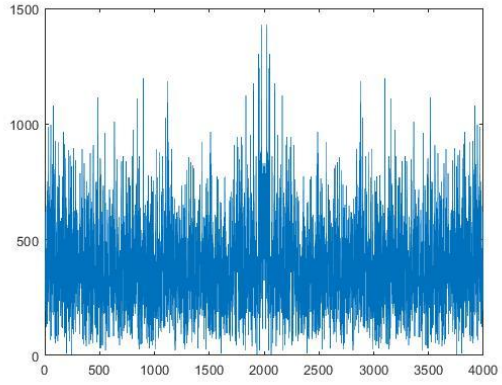
Fonte: Os autores

Nota-se que os picos de amplitude na figura 8, se apresentam concentrados abaixo de 800.

Na figura 9, os picos se apresentam decentralizados e com maiores amplitudes, com valores próximos de 1000, ou seja, com aumento de aproximadamente 25%.

A figura 10 e 11 representam a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para a frequência de 60 Hz, nas configurações do sistema balanceado (sem adição de massa no disco) e desbalanceado (com adição de massa no disco), respectivamente.

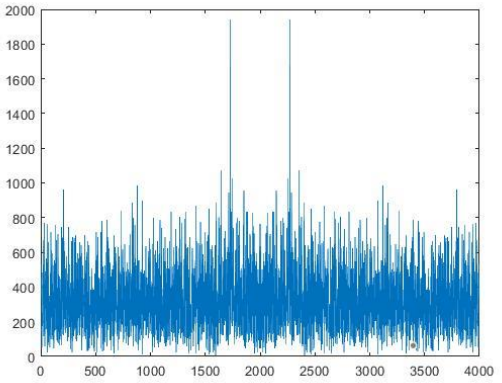
Figura 9. Gráficos comportamentais resultantes dos testes com frequência de 30Hz desbalanceado.



Fonte: Os autores.

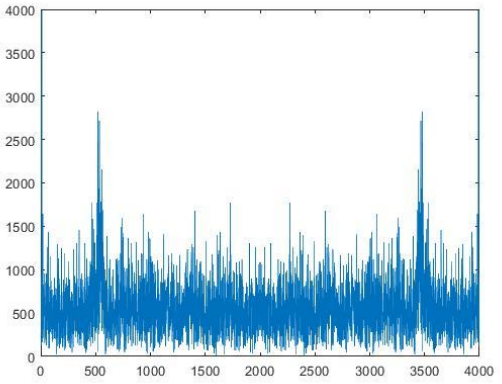
Nota-se que os picos de amplitude na figura 10, se apresentam abaixo de 800.

Figura 10. Gráficos comportamentais resultantes dos testes com frequência de 60Hz livre de desbalanceamento.



Fonte: Os autores.

Figura 11. Gráficos comportamentais resultantes dos testes com frequência de 60Hz desbalanceado.



Fonte: Os autores.

Na figura 11, os picos se apresentam com maiores amplitudes, com valores próximos de 1100, ou seja, com aumento de aproximadamente 38%..

5. CONCLUSÃO

Em todos os gráficos apresentados na seção anterior, é notória a desigualdade entre os sinais com desbalanceamento quando comparado ao gráfico de sinais livre de desbalanceamento. Nota-se maior quantidade de picos de amplitude nos testes desbalanceados.

Afirma-se que o sistema de aquisição e processamento de sinais utilizados nesse trabalho, atingiu seu objetivo e se apresentou de modo eficaz. Visto que, as falhas em máquinas e equipamentos mecânicos, geralmente, atuam de modo a modificar seu comportamento dinâmico, e isso afeta diretamente a amplitude dos sinais medidos, o que ficou evidenciado nas figuras 6 e

7, 8 e 9 e 10 e 11, com acréscimos de até 38% na frequência de 60 hz.

Como continuação dessa pesquisa, sugere-se a implementação de um algoritmo capaz de quantificar e comparar os picos de amplitude da FFT em sinais normais (sistema livre de desbalanceamento) e sinais com falha (sistema desbalanceado), afim de identificar de forma automática e full time o aparecimento de falhas em estruturas rotativas. Uma alternativa para esse problema, segundo Lourenço (2020), seria a utilização de Sistemas de Monitoramento de Integridade Estrutural, os SHM's, que utilizam-se de técnicas inteligentes de reconhecimento de padrões, para identificação de falhas em estágio inicial.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Iniciação Científica da Universidade de Rio Verde, pela oportunidade de participação e disponibilidade de recursos da instituição.

7. REFERÊNCIAS

BRENNI, P.**From Barlow's Wheel to Pacinotti's Machine.** 2018. Disponível em: https://italy.ieeer8.org/wp-content/uploads/sites/24/2018/12/Paolo-Brenni_Pacinotti.pdf Acesso em: 28 abr. 2021.

BRITO, J. N. **Desenvolvimento de um sistema inteligente hibrido para diagnostico de falhas em motores de indução trifásicos**. 2002. Disponível em: http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/265217. Acesso em: 08 maio 2021.

DE OLIVEIRA, J. G. **Materiais Usados na Construção de Motores Elétricos**. 2009. Disponível em: http://www.motoreletrico.net/upload/materiais_motores.pdf Acesso em: 03 maio 2021.

DIAS, A. S. **Detecção de falhas em máquinas rotativas através da análise de vibração**. 2009. Disponível em: https://www.docsity.com/pt/deteccao-de-falhas-em-maquinas-rotativas-atraves-da-analise-de-vibracao/4775244/. Acesso em: 08 maio2021.

DOPPELBAUER, M. **The invention of the electric motor 1800-1854** *2011.* Disponível em: http://www.sze.hu/~szenasy/VILLVONT/vill%20vont%20bevezhez/History%20-%20The%20invention%20of%20the%20electric%20motor%201800-1854.html.Acesso em: 28 abr. 2021.

JEFFCOTT, H. H. The lateral vibration of loaded shafts in the neighbourhood of a whirling speed — The effect of want of balance, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical **Magazine and Journal of Science**v. 37, n. 219, p. 304-314, 1919. https://doi.org/10.1080/14786440308635889

LOURENÇO, R. F. B.; OUTA, R.; CHAVARETTE, F. R.; GONÇALVES, A. C. Analysis and Recognition of Standards in Intelligent Hybrid Systems using Natural Computing. 2021. Disponível em: https://journals.scu.ac.ir/article_16901_b3bcdf686cc5b913950f34a0a8dd47c2.pdf Acesso em: 13ago. 2021.

LOURENÇO, R. F. B. **Novas ferramentas em diagnóstico e análise de máquinas rotativas e equipamentos.**2020. Disponível em: https://www.fc.unesp.br/ . Acesso em: 26 maio 2021.

SILVA, V. A. D. **Detecção de falhas em motores elétricos através das máquinas de vetores de suporte**. 2012. 117 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP., 2012 Disponível em: http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/265564 . Acesso em: 25 maio. 2021.