



II CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Análise Preditiva de Vibração: Diagnóstico de Falha em Rolamento por Contaminação de Lubrificante

Danthon Bruno Gomes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luiz Fernando Rigatti

Coordenação Engenharia Mecatrônica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Henrique Ajuz Holzmann

Coordenação Engenharia Mecatrônica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Análise de vibração é um dos pilares da manutenção preditiva em ambientes industriais, crucial para o diagnóstico e mitigação de falhas em equipamentos rotativos. Com a lubrificação inadequada sendo a principal causa de falhas em rolamentos e a contaminação ou incompatibilidade de graxas comprometendo o filme protetor, o presente estudo aborda o problema da detecção precoce de uma falha incipiente em um rolamento de rolos de um eixo de serra múltipla, causada por contaminação e incompatibilidade de lubrificantes. O objetivo é demonstrar a eficácia da análise preditiva de vibração no diagnóstico preciso dessas falhas, em um estudo de caso real. A metodologia consistiu na coleta de dados de vibração (aceleração) no mancal LA do eixo da serra, conforme as normas adequadas, utilizando um coletor de dados e *software*, com o diagnóstico realizado através da análise do espectro de envelope de aceleração. Os resultados mostraram uma tendência de alta acentuada nos níveis globais de aceleração e um pico proeminente em correspondente à frequência de passagem do elemento rolante na pista externa (BPFO), confirmando um defeito na pista externa do rolamento de rolos cilíndricos NU2220. Este diagnóstico, que correlacionou a assinatura vibratória com a falha na lubrificação, foi validado visualmente após a intervenção de manutenção, com a substituição do componente e lubrificação correta, resultando em uma queda significativa dos níveis de vibração e reforçando a análise preditiva como ferramenta crucial para a confiabilidade industrial.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva, Análise de Vibração, Falha em Rolamento, BPFO.

Predictive Vibration Analysis: Bearing Fault Diagnosis by Lubricant Contamination

Abstract: Vibration analysis is one of the pillars of predictive maintenance in industrial environments, crucial for the diagnosis and mitigation of failures in rotating equipment. With inadequate lubrication being the main cause of bearing failures and contamination or incompatibility of greases compromising the protective film, the present study addresses the problem of early detection of an incipient failure in a roller bearing of a multiple saw spindle, caused by lubricant contamination and incompatibility. The objective is to demonstrate the effectiveness of predictive vibration analysis in the precise diagnosis of these failures, in a real-world case study. The methodology consisted of collecting vibration data (acceleration) at the LA bearing of the saw spindle, according to appropriate standards, using a data collector and software, with the diagnosis carried out through the analysis of the acceleration envelope spectrum. The results showed a sharp upward trend in global acceleration levels and a prominent peak corresponding to the Ball Pass Frequency Outer Race

(BPFO), confirming a defect on the outer race of the cylindrical roller bearing NU2220. This diagnosis, which correlated the vibrational signature with the lubrication failure, was visually validated after maintenance intervention, with the replacement of the component and correct lubrication, resulting in a significant drop in vibration levels and reinforcing predictive analysis as a crucial tool for industrial reliability.

Keywords: Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Bearing Fault, BPFO.

1. Introdução

1.1 Análise de Vibração e Manutenção Preditiva

A análise de vibração constitui um dos pilares da manutenção preditiva em ambientes industriais, oferecendo um método robusto para o diagnóstico e a mitigação de falhas em uma ampla gama de equipamentos rotativos, como motores elétricos, bombas, redutores, ventiladores e turbo máquinas. Essa técnica se baseia na premissa de que cada equipamento, ou componente, quando em operação emite um padrão vibratório único, ou "assinatura", que reflete seu estado de funcionamento. Desvios sutis ou abruptos dessa assinatura são indicadores de desgaste, permitindo a mensuração, quantificação e a tomada de decisão proativa antes que uma falha ocorra [1]. Para compreender o valor da manutenção preditiva, é crucial diferenciá-la dos modelos tradicionais de gestão de ativos. A manutenção é, por definição, o conjunto de ações técnicas e administrativas que garantem a funcionalidade de um item, seja ele um componente, um subsistema ou um equipamento complexo [2].

O paradigma mais básico é a manutenção corretiva, uma abordagem reativa em que a intervenção só ocorre após a falha. Embora simples de implementar, essa estratégia frequentemente resulta em paradas não planejadas, perdas de produção e custos elevados, sendo viável apenas para ativos de baixa criticidade [2]. Em contrapartida, a manutenção preventiva adota uma abordagem proativa, com intervenções programadas com base em intervalos de tempo ou na vida útil esperada do equipamento, geralmente definida pelo fabricante. Contudo, essa metodologia pode ser ineficiente, levando a substituições prematuras de componentes ainda funcionais, o que acarreta custos desnecessários e desperdício de recursos [3, 4].

A manutenção preditiva transcende essas limitações ao monitorar as condições reais de operação dos equipamentos em tempo real. A intervenção não é baseada em calendários, mas em dados de parâmetros como vibração, temperatura, análise de óleo e corrente elétrica. A análise de vibração, em particular, é uma das técnicas mais eficazes, pois permite o diagnóstico de falhas incipientes enquanto o equipamento ainda está em pleno funcionamento, proporcionando um tempo hábil para o planejamento e a execução de reparos otimizados [5, 6, 7].

1.2 Vibração e Diagnóstico de Falhas em Mancais de Rolamento

Os mancais de rolamento constituem componentes críticos em máquinas rotativas, responsáveis por suportar cargas estáticas e dinâmicas, bem como assegurar o alinhamento e a posição relativa entre as partes móveis. A vibração em uma máquina é um fenômeno complexo, que resulta da superposição de todas as vibrações intrínsecas de seus componentes. A análise de vibração, quando realizada no domínio da frequência, permite a decomposição desse sinal complexo em seus componentes harmônicos, isolando as frequências de cada elemento mecânico [6, 10]. Esse processo permite estabelecer uma "assinatura da máquina" em condições normais de operação, servindo como linha de base para a detecção de anomalias.

Falhas em mancais de rolamento são uma fonte comum de vibração anômala e sua detecção precoce é fundamental para evitar a falha do sistema. Estas falhas tipicamente

se manifestam como Frequências Características de Defeitos (FCDs), que são geradas por impactos repetitivos quando os elementos rolantes encontram defeitos na pista externa, pista interna, na superfície dos próprios elementos rolantes ou na gaiola [9].

Essas vibrações ocorrem em frequências específicas, que são funções da velocidade de rotação do eixo e da geometria do rolamento. A detecção dessas FCDs no espectro de vibração é uma evidência clara da presença e da localização da falha. As principais FCDs são [10]:

- Frequência de Passagem do Elemento Rolante na Pista Externa (BPFO): utilizada para detectar defeitos na pista externa de um rolamento. Essa frequência é calculada pela Equação 01:

$$BPFO = 2n \cdot fr \cdot (1 - (D/d) \cdot \cos\beta) \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

n: é o número de elementos rolantes (esferas ou rolos).

fr: é a frequência de rotação do eixo (em Hertz).

D: é o diâmetro primitivo do rolamento.

d: é o diâmetro do elemento rolante.

β : é o ângulo de contato do rolamento.

- Frequência de Passagem do Elemento Rolante na Pista Interna (BPFI): esta frequência está associada a defeitos na pista interna, sendo calculada pela Equação 02.

$$BPFI = 2nfr(1 + (D/d)\cos\beta) \quad \text{Eq. 02}$$

- Frequência de Rotação do Elemento Rolante (BSF): é a frequência de rotação do elemento rolante, indica um defeito em um dos elementos rolantes e pode ser expressa pela Equação 03.

$$BSF = (D/d)fr[1 - (d/D)\cos\beta] \quad \text{Eq. 03}$$

- Frequência Fundamental da Gaiola (FTF): esta frequência sugere um problema na gaiola do rolamento, sendo expressa pela Equação 04.

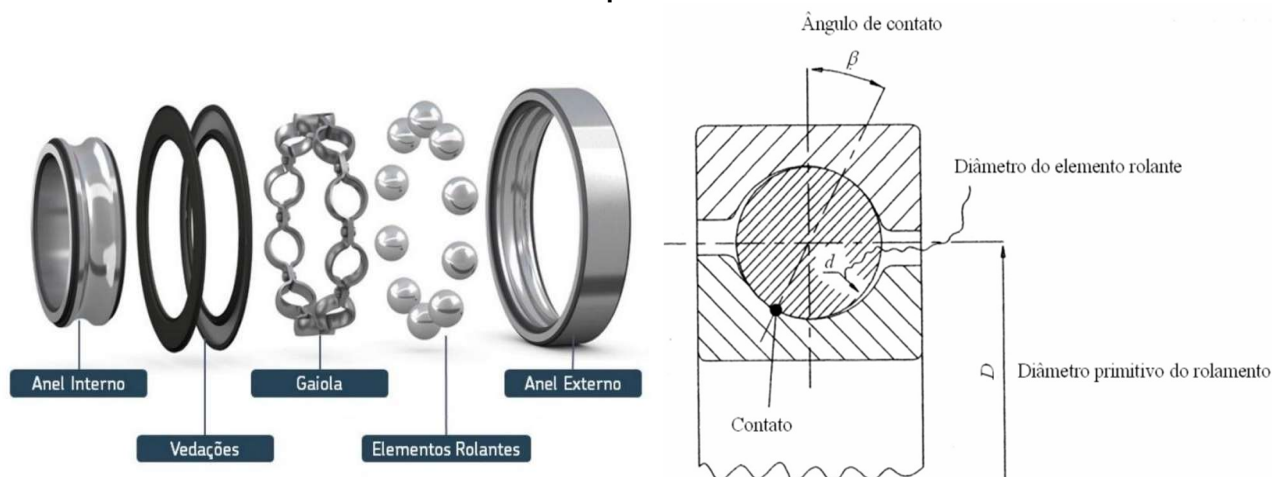
$$FTF = (1/2)fr[1 - (D/d)\cos\beta] \quad \text{Eq. 04}$$

O monitoramento contínuo dessas frequências possibilita a identificação precisa e o acompanhamento da progressão de defeitos antevendo as falhas, fornecendo dados cruciais para o planejamento de manutenção baseado em condição. Essa abordagem não apenas evita paradas não programadas, mas também otimiza a vida útil dos componentes, reduzindo custos operacionais e aumentando a confiabilidade dos sistemas. A aplicação de técnicas avançadas de processamento de sinais e inteligência artificial tem potencializado ainda mais a capacidade de diagnóstico, permitindo a detecção de defeitos em estágios ainda mais incipientes.

1.3 A Influência da Lubrificação na Vida Útil de Mancais e a Análise de Vibração

A manutenção regular é crucial para garantir a eficiência e a longevidade de qualquer equipamento industrial. Nesse contexto, a lubrificação se destaca como um dos fatores mais importantes para a vida útil dos ativos. Sua principal função em mancais de rolamento é reduzir o atrito, prevenir a corrosão e proteger contra contaminantes como água e partículas sólidas. O lubrificante cria uma película que evita o contato direto entre as superfícies metálicas, mesmo sob cargas elevadas [5, 9, 13]. Além disso, ele age como um refrigerante e impede a entrada de detritos (Figura 1a e b).

Figura 1 – a) Partes do rolamento e b) Dimensões de um rolamento para o cálculo de suas frequências.



Fonte – Adaptado de SKF (2002) e Adaptado de MENNA (2007).

A graxa, a forma mais comum de lubrificante para rolamentos, é composta por um óleo base, um espessante e aditivos [18, 19]. O espessante é o que confere à graxa sua consistência semissólida e é fundamental para suas propriedades. A quantidade e o tipo de espessante determinam a rigidez da graxa, enquanto o óleo base define seu desempenho em altas e baixas temperaturas e sua viscosidade [20].

Um erro comum, e extremamente prejudicial, é a mistura de graxas incompatíveis. Fabricantes de rolamentos e lubrificantes desaconselham essa prática, principalmente quando o óleo base ou os espessantes são diferentes. A incompatibilidade pode alterar a estrutura da graxa, comprometendo sua consistência, ponto de gota e, conseqüentemente, sua capacidade de lubrificação [21]. Interações químicas ou estruturais entre os sistemas de espessantes e aditivos de diferentes graxas podem levar a uma lubrificação ineficaz e causar danos aos componentes, resultando em falhas prematuras dos equipamentos [22]. A Figura 2 mostra um índice de miscibilidade que serve de guia para evitar essas interações prejudiciais.

Figura 2 – Índice de miscibilidade das graxas.

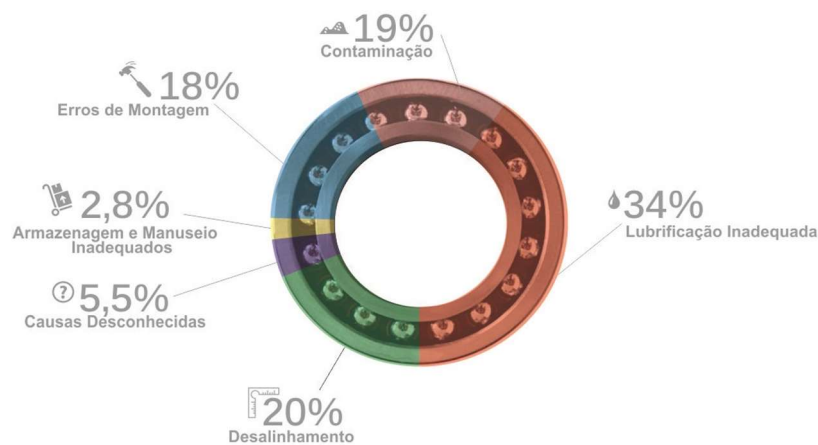
GRAXA	Complexo de Alumínio	Complexo de Bário	Cálcio	Cálcio 12 - hidro estearato	Complexo de Cálcio	Sulfonato de Cálcio	Bentona	Lítio	Lítio 12 Hidro estearato	Complexo de Lítio	Poliurea
Complexo de Alumínio	-	I	I	C	I	L	I	I	I	C	I
Complexo de Bário	I	-	I	C	I	C	I	I	I	I	I
Cálcio estearato	I	I	-	C	I	C	C	C	L	C	I
Cálcio 12 - Hidro estearato	C	C	C	-	L	L	C	C	C	C	I
Complexo de Cálcio	I	I	I	L	-	I	I	I	I	C	C
Sulfonato de Cálcio	L	C	C	L	I	-	I	L	L	C	I
Bentona	I	I	C	C	I	I	-	I	I	I	I
Lítio	I	I	C	C	I	L	I	-	C	C	I
Lítio 12 - Hidro estearato	I	I	L	C	I	C	I	C	-	C	I
Complexo de Lítio	C	I	C	C	C	C	I	C	C	-	I
Poliurea	I	I	I	I	C	I	I	I	I	I	-

L = Limite | C = Compatível | I = Incompatível

Fonte: Adaptado de Klüber do Brasil (2024).

A lubrificação deficiente compromete a capacidade de amortecimento do sistema, resultando em maior amplitude das vibrações. Cada passagem de um elemento rolante por uma zona de carga, ele gera um impulso vibratório que, em condições adequadas, é atenuado pelo filme lubrificante. Quando a lubrificação é inadequada, esses impulsos se tornam mais intensos, podendo ser detectados por meio da análise de vibração [15, 16]. Essa técnica permite identificar mudanças no lubrificante e, conseqüentemente, na dinâmica do sistema, como mostrado em modelos detalhados de análise vibracional [14]. A Figura 3, apresenta as falhas mais comuns ocorridas em rolamentos.

Figura 3 – Tipos de falha em rolamento.



Fonte – Adaptado de TELES (2023).

A lubrificação manual de equipamentos em ambientes industriais pode ser um grande desafio, pois dificulta a dosagem correta do lubrificante e a gestão de múltiplos pontos de lubrificação com diferentes tipos de graxa. A falta de controle nesse processo é um fator crítico, e dados estatísticos mostram que 36% das falhas em rolamentos são causadas por má lubrificação [17].

Neste artigo, propõe-se a analisar, por meio da análise de vibração preditiva, um caso real de defeito em um rolamento de rolos pertencentes de um mancal de eixo de serras de alta rotação. A falha foi identificada como resultado de contaminação e incompatibilidade de lubrificantes. A análise detalhada da vibração, em conjunto com o conhecimento sobre as propriedades do lubrificante, demonstra a aplicação prática da teoria para um diagnóstico

preciso de falhas em um contexto industrial, mostrando-se fundamental para otimizar as estratégias de manutenção e aumentar a confiabilidade do sistema.

2. Metodologia

2.1 Seleção do Equipamento e Caracterização do Ativo

A presente pesquisa focou em um equipamento de alta criticidade na produção, uma serra múltipla, utilizada no setor de serraria de uma indústria de molduras de madeira. A criticidade do equipamento justifica a aplicação de técnicas avançadas de manutenção preditiva para garantir a continuidade e eficiência do processo de corte.

O equipamento é composto por dois eixos acionados por motores elétricos Siemens modelo 1LG4 315-4EA90-Z, com as seguintes especificações: carcaça 315L, potência de 300 CV, tensão de 380V e rotação de 1791 rpm. O sistema de transmissão de potência é realizado por um conjunto de polias e correias dentadas de passo de 14mm (correia Gates 14MGT3920), com um diâmetro de polia motora de 320 mm e polia movida de 190 mm.

Os eixos são suportados por rolamentos específicos em cada mancal. O mancal LA (lado de acoplamento) utiliza um rolamento NU2220 ETVP2, enquanto o mancal LOA (lado oposto ao acoplamento) utiliza dois rolamentos 7226 ETP4SUL. A análise vibracional deste estudo será focada exclusivamente no mancal LA, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Conjunto do eixo da serra multipla utilizado no estudo.

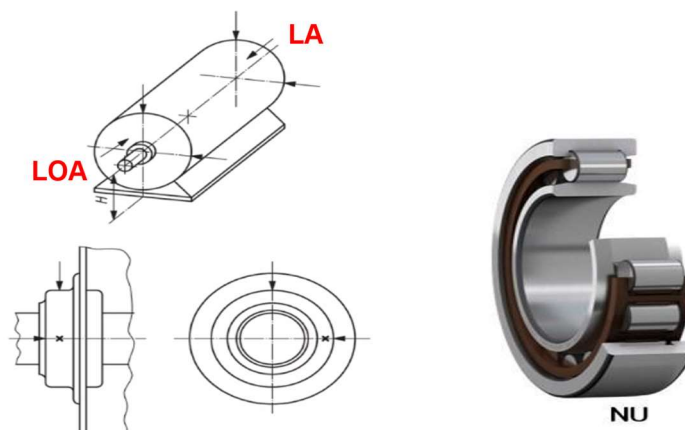


Fonte: O autor (2025).

2.2 Coleta de Dados e Análise de Vibração

A coleta de sinais de dados de vibração foi realizada em pontos estratégicos do equipamento, de modo a obter medições representativas da vibração no alojamento do rolamento, minimizando assim a influência de ressonâncias e possíveis amplificações locais. A metodologia adotada alinhou-se estritamente às diretrizes da norma ISO 20816-3, a qual preconiza a medição da vibração em duas direções radiais ortogonais – as direções vertical e horizontal – para máquinas que operam em montagens horizontais. A seleção desses pontos de medição, ilustrada na Figura 4 e 5, é crucial para fornecer sensibilidade adequada às forças dinâmicas da máquina, permitindo uma avaliação precisa da condição de funcionamento.

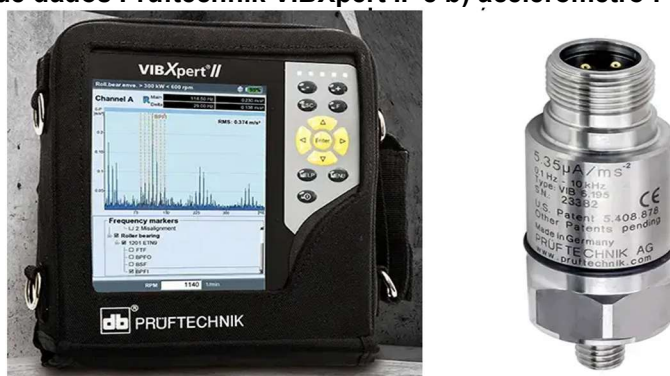
Figura 5 – a) Pontos de medição para máquinas montadas horizontalmente (ISO) e b) Rolamento tipo NU – SKF.



Fonte: Adaptado de ISO (2022) e catálogo SKF (2024).

Neste estudo, o monitoramento foi realizado utilizando um coletor de dados portátil *Pruftechnik VIBXpert II*, um pacote móvel de gravação que permite a visualização em tempo real do status vibracional do equipamento. O sensor empregado foi um acelerômetro *Pruftechnik VIB 6.142R*, capaz de operar em uma ampla faixa de frequência, de 1 Hz a 20 kHz, ambos apresentados na Figura 6.

Figura 6 - a) Coletor de dados Pruftechnik VIBXpert II e b) acelerômetro Pruftechnik VIB 6.142R.



Fonte: Adaptado de Pruftechnik (2024).

Para assegurar a confiabilidade dos dados, as medições foram conduzidas em condições normais de operação da máquina, em regime permanente e com o eixo e rolamentos principais em suas temperaturas operacionais usuais, conforme recomendado pela norma ISO 20816-3. O processamento e a análise dos dados coletados foram conduzidos através do *software Omnitrend*, da mesma fabricante do coletor. Este software possibilita o gerenciamento eficiente dos dados, a criação de históricos de manutenção e o controle das rotas de medição em toda a planta industrial, fornecendo um ambiente integrado para o diagnóstico e o monitoramento contínuo da condição do ativo. Com a Figura 5, detalhando o rolamento NU utilizado, a análise pode prosseguir para o cálculo das frequências [24, 25].

3. Resultados e Discussões

A análise dos dados de vibração, coletados no mancal LA do eixo da serra múltipla, forneceu evidências substanciais para o diagnóstico de um problema incipiente no rolamento NU2220. O estudo dos espectros, em particular a análise de envelope de aceleração, permitiu a identificação de um padrão de falha na pista externa do componente ocasionado pela falha na lubrificação gerada de uma contaminação com lubrificante diferente do recomendado pelo fabricante do equipamento.

3.1 Análise Vibracional e Diagnóstico

O processo de avaliação teve início com a análise dos dados de aceleração no domínio da frequência, que foram apresentados em cascata na Figura 7. A primeira indicação de anomalia foi detectada na medição de 27/06/2024, onde se observou um elevado "carpete" de vibração. Esse sintoma é característico de falhas por lubrificação inadequada, que resulta no aumento do atrito e na subsequente degradação da película protetora do lubrificante.

Figura 7 - Espectro de aceleração cascata.



Fonte – O autor (2025).

A elevação desses níveis de vibração foi corroborada pela Figura 8, que ilustra uma tendência de alta nos valores globais de aceleração ao longo do tempo. Esse aumento progressivo indica o desenvolvimento de uma falha que, se não tratada, poderia levar à quebra inesperada do equipamento. Para um diagnóstico mais aprofundado, foi utilizada a análise de envelope de aceleração.

Figura 8 - Linha do tempo coletas em valores globais aceleração.

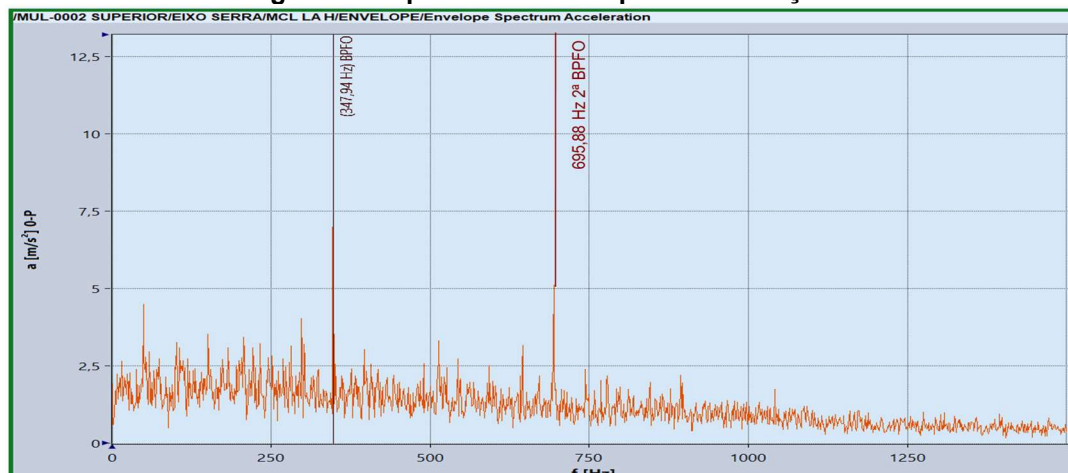


Fonte – O autor (2025).

O espectro da Figura 9 evidenciou a presença de um pico proeminente na frequência de 347,97 Hz. Este pico corresponde à Frequência de Passagem do Elemento Rolante na Pista Externa (BPFO), uma assinatura vibratória inequívoca de um defeito nessa superfície. A falha foi correlacionada com a causa raiz de contaminação e incompatibilidade de lubrificantes. A lubrificação deficiente aumenta o atrito e, com o tempo, causa o surgimento de pequenos furos e rachaduras nas pistas. A passagem das esferas ou rolos por essas imperfeições produz frequências características, cujas amplitudes e a distribuição de seus harmônicos podem indicar o grau de deterioração do rolamento. Com o aumento dos

defeitos, a quantidade de impactos se eleva, levando à ressonância do rolamento em suas diversas partes.

Figura 9 - Espectro de envelope de aceleração.



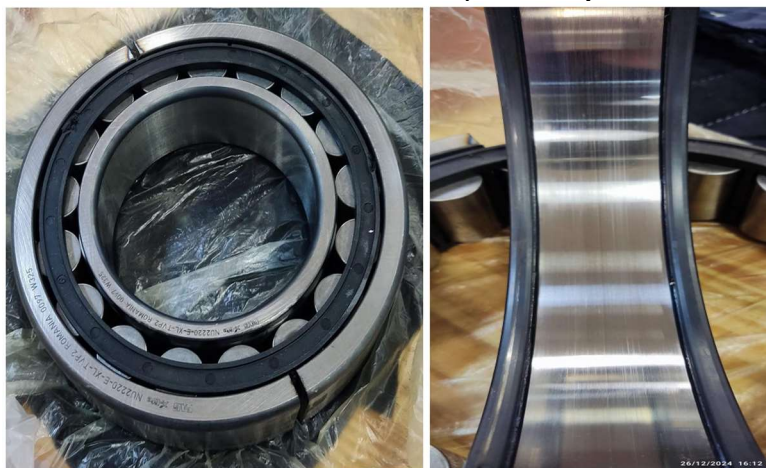
Fonte – O autor (2025).

A assertividade do diagnóstico por análise de vibração foi validada após a intervenção de manutenção. Foi efetuada a substituição do rolamento NU2220 e realizada a devida lubrificação do componente. As medições subsequentes, realizadas em 02/07/2024 e 29/08/2024, conforme a Figura 8 confirmaram a eficácia da intervenção, mostrando uma queda significativa nos níveis de vibração e o retorno do equipamento a um estado de operação considerado normal.

3.2 Validação Visual e Confirmação do Diagnóstico

A inspeção visual do rolamento NU2220 após a sua remoção, apresentada na Figura 10, forneceu a validação final do diagnóstico. A Figura 10a mostra o rolamento após a remoção, evidenciando as áreas de dano na pista externa, consistentes com a frequência de BPFO detectada. Um close-up detalhado na Figura 10b revela o desgaste, os furos e as rachaduras na pista externa, que são o resultado direto do atrito e da degradação do material. Essas evidências visuais não apenas validam o diagnóstico por análise de vibração, mas também reforçam a importância da manutenção preditiva na otimização da vida útil dos componentes e na prevenção de paradas não planejadas, demonstrando como a detecção precoce de sintomas de falha pode evitar a degradação total do equipamento.

Figura 10 – a) Rolamento NU2220 cortado ao meio e b) Detalhe pista externa rolamento NU2220.



Fonte – O autor (2025).

4. Conclusão

A análise de vibração, quando aplicada de forma criteriosa, demonstra ser uma ferramenta indispensável para a manutenção preditiva de equipamentos rotativos. O estudo de caso apresentado neste artigo evidencia sua eficácia na detecção precoce de falhas em rolamentos. A análise detalhada do espectro de aceleração e do envelope de vibração permitiu diagnosticar com precisão um defeito na pista externa do rolamento NU2220, diretamente correlacionado a falhas de lubrificação, como contaminação e incompatibilidade de graxas.

A subsequente intervenção de manutenção, que consistiu na substituição do componente e na aplicação correta do lubrificante, validou a assertividade do diagnóstico. A significativa redução dos níveis de vibração confirmou o sucesso da ação corretiva, retornando o equipamento a um estado de operação ideal.

Este caso reforça a importância crítica da gestão técnica de manutenção baseada em monitoramento de condição. A adoção de práticas adequadas de lubrificação, incluindo a seleção correta do lubrificante e a atenção à sua compatibilidade, não é apenas um procedimento técnico, mas uma estratégia fundamental para garantir a confiabilidade, durabilidade e segurança dos equipamentos industriais. Ignorar esses aspectos pode levar a custos elevados e, mais criticamente, a paradas de produção não planejadas, impactando negativamente a produtividade e a rentabilidade.

Referências

- [1] P. L. da SILVA, L. G. A. de OLIVEIRA e V. H. H. MARTELLI, "Aplicação da Análise de Vibração em Manutenção Preditiva de Equipamentos Industriais", **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 12, n. 2, pp. 45-58, 2021.
- [2] ABNT NBR 5462:1994, **Confiabilidade e Manutenibilidade**, Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- [3] J. MOUBRAY, **Manutenção Centrada na Confiabilidade**, São Paulo: Makron Books, 2000.
- [4] S. HADDAD e M. C. M. LOPES, "Manutenção Produtiva Total (TPM): Uma revisão da literatura", **Journal of Quality Engineering and Management**, v. 3, n. 1, pp. 31-45, 2018.
- [5] C. F. C. BAZIN, "Manutenção Preditiva em Sistemas Industriais", **Revista Brasileira de Engenharia Mecânica**, v. 15, n. 4, pp. 210-225, 2019.
- [6] J. S. GOMES e A. J. S. MENEZES, **Análise de Vibração em Máquinas Rotativas**, Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- [7] A. P. LIMA e G. B. G. MELO, "Análise de Vibração como Ferramenta de Manutenção Preditiva", **Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Salvador, 2017.
- [8] SKF, **General Catalogue**, SKF Group, 2022.
- [9] J. I. L. REBELLO, **Fundamentos da Manutenção Industrial**, São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- [10] S. A. ESHIBLI, "Bearing Faults Diagnosis Using Vibration Analysis", **International Journal of Mechanical and Production Engineering**, v. 5, n. 9, pp. 43-48, 2017.
- [11] J. P. E. GOMES e J. M. A. PAIVA, **Processamento de Sinais: Teoria e Aplicações**, Porto: FEUP Edições, 2019.
- [12] H. H. AL-BALUSHI, M. S. AL-MAHROOQI e A. M. AL-SHAikh, "Vibration Analysis for Bearing Fault Detection", **Journal of Engineering Research**, v. 16, n. 1, pp. 1-10, 2019.

- [13] M. J. NEALE, **Tribologia de Rolamentos**, São Paulo: Blucher, 2012.
- [14] A. NORTON, **Machinery Failure Analysis and Troubleshooting**, Boca Raton: CRC Press, 2004.
- [15] J. H. TANG, Z. D. WANG e C. M. LIN, "Effects of Lubrication on Bearing Vibration Characteristics", **Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 233, n. 1, pp. 120-131, 2019.
- [16] B. P. MENNA, "Análise de Falhas em Rolamentos por Vibração", **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- [17] T. E. S. TELES, **A Importância da Lubrificação Correta para a Vida Útil de Rolamentos**, TCC, Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.
- [18] J. A. P. SOUZA e M. L. G. LIMA, "Composição e Propriedades de Graxas Lubrificantes", **Revista de Engenharia Química**, v. 9, n. 2, pp. 88-101, 2016.
- [19] C. F. F. REZENDE e P. H. S. COSTA, **Lubrificantes Industriais: Guia Prático**, São Paulo: Editora Senac, 2020.
- [20] P. L. G. JUNIOR e S. R. S. LIMA, "O Papel dos Espessantes em Graxas Lubrificantes", **Journal of Materials and Technology**, v. 12, n. 3, pp. 175-188, 2018.
- [21] J. M. S. BASTOS e R. S. SANTOS, "Estudo da Incompatibilidade de Graxas Lubrificantes", **Revista de Ciência e Tecnologia dos Materiais**, v. 15, n. 1, pp. 45-56, 2021.
- [22] D. E. G. RODRIGUES e F. C. B. AZEVEDO, "Análise da Incompatibilidade de Graxas", **Anais do Simpósio Internacional de Engenharia Mecânica**, São Paulo, 2019.
- [23] B. P. G. FERREIRA e L. M. A. COSTA, "Sistemas de Lubrificação Automática em Indústria", **Revista de Engenharia Industrial**, v. 10, n. 3, pp. 25-38, 2022.
- [24] KLÜBER DO BRASIL, **Tabela de Miscibilidade de Graxas**, 2024.
- [25] OMNITREND CENTER. Pruftechnik, 2024. Disponível em: <<https://www.pruftechnik.com/products-and-services/condition-monitoring-systems/software/omnitrend-center/>>. Acesso em: 05/08/2024.
- [26] VIBXPERT II. Pruftechnik, 2024. Disponível em: <<https://www.pruftechnik.com/products-and-services/condition-monitoring-systems/vibration-analysis-and-balancing/vibration-analyzer/vibxpert-ii/>>. Acesso em: 05/08/2024.
- [27] VIBRATION SENSORS AND ACCESSORIES. Pruftechnik, 2024. Disponível em: <<https://www.pruftechnik.com/products-and-services/condition-monitoring-systems/vibration-analysis-and-balancing/vibration-analyzer/vibxpert-ii/>>. Acesso em: 05/08/2024.