AVALIAÇÃO DE ROLAMENTOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE GRAXA

Anny Karolayne do Carmo Senna Carvalho [(1)] (annykarolayne@windowslive.com), Lucas Costa Brito[(2)] (brito.lcb@gmail.com), Jorge Nei Brito [(1)] (brito@ufsj.edu.br),

[(1)] Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ); Departamento Engenharia Mecânica
[(2)] Universidade Federal de Uberlândia (UFU); Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC)

RESUMO: *Neste trabalho apresenta-se um estudo sobre as diferentes condições de armazenamento de rolamentos em lojas comerciais e no LASID (Laboratório de Sistemas Dinâmicos). Seis rolamentos novos, de diferentes fornecedores (Belo Horizonte, Janaúba e São João del-Rei), e quatro armazenados no LASID foram testados para verificação do grau de degradação devido a exposição a diferentes ambientes para verificar o quanto esse grau foi se agravando com o decorrer do tempo. Os rolamentos foram montados em um motor elétrico, nas mesmas condições, e avaliados através da Análise de Graxa. Os fornecedores podem armazenar os rolamentos de forma diferente. Também podem não respeitar as orientações dos fabricantes, ou seja, não os armazenar em locais secos, sem poeira e temperatura amena, o pode trazer grandes consequência, diminuindo sua vida útil mesmo quando ainda estão nas embalagens originais. Os resultados mostram que os armazenamentos dos rolamentos testados são inadequados. As análises das amostras de graxas dos rolamentos apresentaram presença de contaminantes.*

PALAVRAS-CHAVE: *Rolamento, Armazenamento, Análise de Graxa*.

EVALUATION OF BEARINGS IN DIFFERENT STORAGE CONDITIONS THROUGH THE GREASE ANALYSIS

ABSTRACT: *A study on the different storage conditions of bearings in commercial stores and at LASID (Laboratory of Dynamic Systems) is shown. Six new bearings, from different suppliers (Belo Horizonte, Janaúba and São João del-Rei), and four stored at LASID were tested to check the degree of degradation due to exposure to different environments to see how much this degree was getting worse with the over time. The bearings were mounted on an electric motor, under the same conditions, and evaluated using Grease Analysis. Suppliers can store bearings differently. They may also not respect the manufacturers' guidelines, that is, do not store them in dry places, free of dust and mild temperature, which can have great consequences, reducing their useful life even when they are still in the original packaging. The results show that the storage of the tested bearings is inadequate. Analyzes of samples of bearing greases showed the presence of contaminants.*

KEYWORDS: *Bearing, Storage, Grease Analysis.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Santos (2013), a principal função de um lubrificante é atuar na minimização do atrito entre duas peças que se movem relativamente entre si. Dessa forma o atrito é diminuído devido à formação de uma película pelo uso do lubrificante o qual impede o contato direto entre as peças, exigindo menor força e desgaste das superfícies.

Uma das principais vantagens das graxas lubrificantes é o fato de não escorrerem do local em que são colocadas, o que dispensa a implantação de sistemas dispendiosos de vedação. A degradação das graxas sob condições de operação ocorre principalmente através de mecanismos de oxidação. (LIMA *et al.*, 2014).

A consistência da graxa é um dos parâmetros que determina a rigidez da graxa. A escolha correta da consistência para determinada aplicação depende de várias condições operacionais tais como temperatura, velocidade, alinhamento do eixo, bombealidade, entre outras (SKF, 2011). Esse parâmetro é também diretamente influenciado pela viscosidade do óleo de base da composição da graxa, (ROSA, 2017). De acordo com Stachowiak e Batchelor (2014), a consistência deve ser suficiente para manter a massa de graxa uniforme sobre a superfície nas condições de trabalho dos equipamentos.

Os defeitos do rolamento introduzem no equipamento vibrações características bem peculiares e, na maioria das vezes, não são fáceis de serem evidenciadas. Dentre as causas mais comuns de defeitos em rolamentos destacam-se a seleção incorreta, estocagem e lubrificação inadequada (excessiva ou insuficiente), falha de vedação e descargas elétricas através dos mancais, Brito (2002).

Os defeitos em rolamentos podem ser causados durante o processo de fabricação ou uso. Caso essas falhas não sejam detectadas a tempo, podem levar a um mau funcionamento da máquina e até comprometer outros componentes, podendo inutilizá-la. (BEZERRA, 2004).

Monitorar o estado de funcionamento de rolamentos, através de técnicas preditivas, é imprescindível para evitar que falhas inesperadas ocorram, aumentando assim a disponibilidade do equipamento dentro da planta industrial (ABREU *et al.*, 2007).

Segundo, Trevisan *et al.* (2010), sabe-se que a lubrificação tem um custo baixo, quando comparado com os custos da manutenção onde ela está inserida. Segundo Alvez (2016), o lubrificante é um dos itens mais importantes para manter um sistema mecânico em equilíbrio, prolongando a vida útil dos equipamentos.

Sabe-se que uma inadequada lubrificação e contaminação em rolamentos, são responsáveis por 70% das perdas antecipadas dos mesmos, em grande parte das vezes falhas desse tipo são consequências do mal armazenamento de estoque (*Applied Industrial Tecnologies*, 2010). Métodos ineficientes de lubrificação são as causas de 50% de todas as falhas prematuras nos rolamentos. (SKF,2011).

Rolamentos podem ser armazenados sem que ocorra perda das suas propriedades. Para que isso aconteça, é preciso seguir as indicações feitas pelos fabricantes. Controlar as variações no ambiente é imprescindível para que a validade seja assegurada, porém a maior parte das empresas, principalmente as pequenas, não fazem isso.

Neste trabalho apresenta-se diferenças de desempenho ou danos que podem ser gerados pelo armazenamento de maneira inadequada dos rolamentos. Com o uso das técnicas de Análise de Graxa e Análise de Vibração foi possível estudar a presença de defeitos e/ou contaminantes em rolamentos novos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foram utilizados cinco pares de rolamentos 6202 e 6203 de diferentes marcas e um motor Eberle bifásico 1/3 CV montado em uma bancada de testes, Figura 1. Os rolamentos foram adquiridos de diferentes fornecedores e de diferentes cidades.

FIGURA 1. Bancada de testes onde foram testados os rolamentos. Fonte: Autor (2019).

Os testes experimentais foram realizados no Laboratório de Sistemas Dinâmicos (LASID) da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

Os rolamentos foram montados no motor bifásico Eberle 1/3 CV [1]. Para simular a carga foi montado na extremidade do eixo do motor elétrico uma polia envolvida por uma correia e fixada na base da bancada de testes. Todos os testes foram realizados com carga através do monitoramento da corrente nominal do motor. Para garantir a repetibilidade dos testes com a mesma carga utilizou-se um multímetro digital. As análises de graxa foram realizadas no " Kit de análise de graxas TKGT 1", Figura 2.

FIGURA 2. Equipamento de Análise de Graxa TKGT 1 - SKF. Fonte: Autor (2019).

2.1. Teste de Consistência

Para realizar o Teste de Consistência um volume fixo de graxa deve ser colocado entre duas placas de vidro e pressionado por um peso durante 15 segundos. Após isso, é possível realizar a avaliação da consistência da graxa, fazendo a comparação da mancha da graxa obtida com a escala de medida calibrada, Figura 3. Depois verifica o número que está na escala com o que ele significa, de acordo com a Tabela Escala de classificação da consistência da graxa segundo a NLGI.

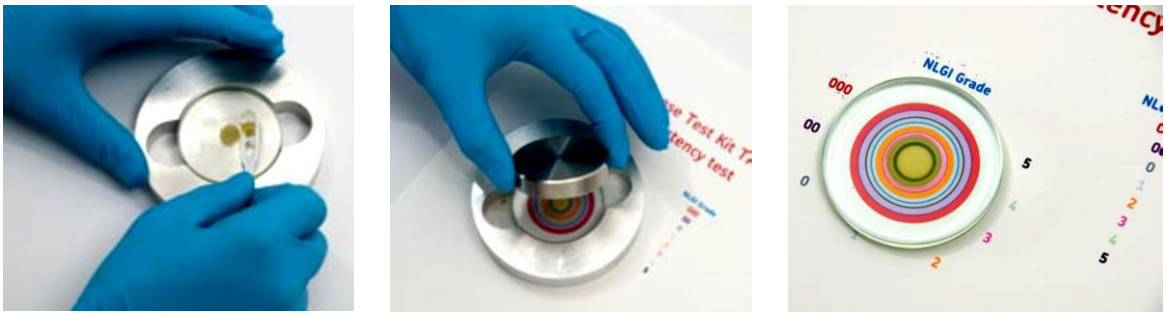

FIGURA 3. Teste de Consistência. Fonte: SKF (2011).

2.2. Teste de Contaminação

Inicialmente, o Teste de Contaminação possui o mesmo procedimento que o Teste de Consistência, entretanto, ao invés de esperar 15 segundos, o peso é pressionado, de modo que a graxa se espalhe entre as duas placas de vidro. Posteriormente, basta analisar microscopicamente a amostra, como é representado na Figura 4.

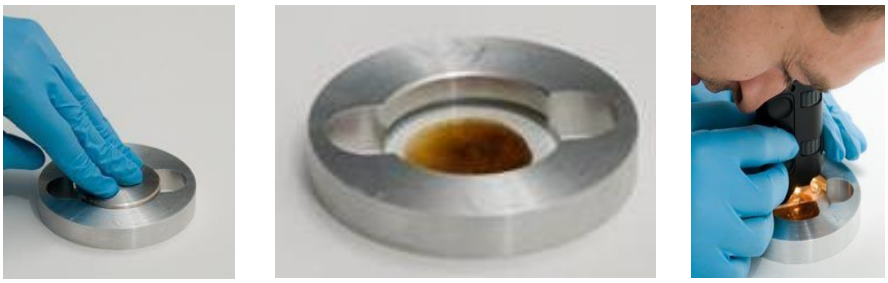

FIGURA 4. Avaliação da contaminação. Fonte: SKF (2011).

Como o microscópico do kit de teste TKGT 1 não possibilita fotografar, foi utilizado nessas análises o microscópico do LMVO para que fosse possível registrar as imagens.

2.3. Teste de Sangria

O Teste de Sangria do Óleo consiste em colocar uma quantidade fixa de graxa no papel mata-borrão e deixar aquecer por duas horas. Nesse tempo o óleo da graxa será liberado, criando uma mancha de óleo no papel, conforme mostrado na Figura 5.

FIGURA 5. Características de mudança no óleo. Fonte: SKF (2011).

Para avaliar as mudanças nas propriedades de sangramento mede-se o diâmetro da mancha formada, geralmente é uma elipse, efetua-se o cálculo da aérea sangrada e compara com os resultados obtidos com a área da amostra não usada.

O cálculo da área sangrada é obtido através da Equação 1, onde SFresca é a área sangrada da amostra fresca e DMedFresca é o valor do diâmetro médio (mm) das duas dimensões calculadas como diâmetro 1 (**D1**) e diâmetro 2 (**D2**).

$$S... = 0{,}785 \times (\ D^2Med... - 100) \quad (1)$$

A diferença da área de sangramento entre a amostra usada e a fresca (%Dif), pode ser calculada por meio da Equação 2. Se o resultado for negativo, o sangramento é então reduzido. Se o resultado for positivo, o sangramento é então aumentado.

$$\%Dif = 100 \times (S\text{Usada} - SFresca)/\ SFresca \quad (2)$$

3. RESULTADOS

Inicialmente foi testado o rolamento da marca **A**, armazenado em condições ideais, segundo informações do fornecedor. Posteriormente os das marcas **B**, **C**, **D** e **E**.

3.1. Teste de Contaminação

Nas Figuras 6 a 25 tem-se as condições da graxa dos rolamentos após a realização dos testes. Essas imagens foram fotografadas no Microscópio do Laboratório de Microscopia da UFSJ. Todas as fotos são de autoria da pesquisadora.

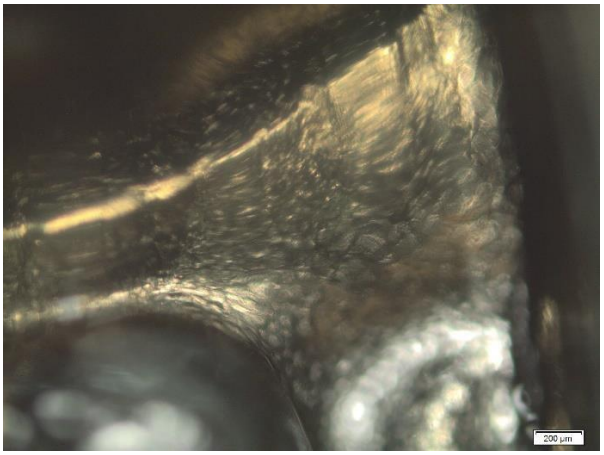

FIGURA 6. Rolamento 6202 Marca A 50x. Fonte: Autora (2019).

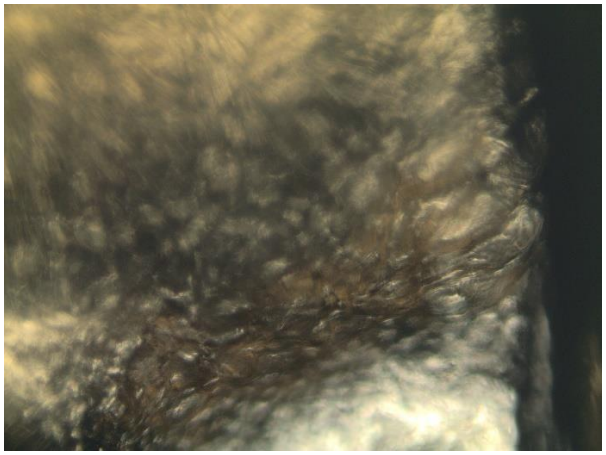

FIGURA 7. Rolamento 6202 Marca A 100x. Fonte: Autora (2019).

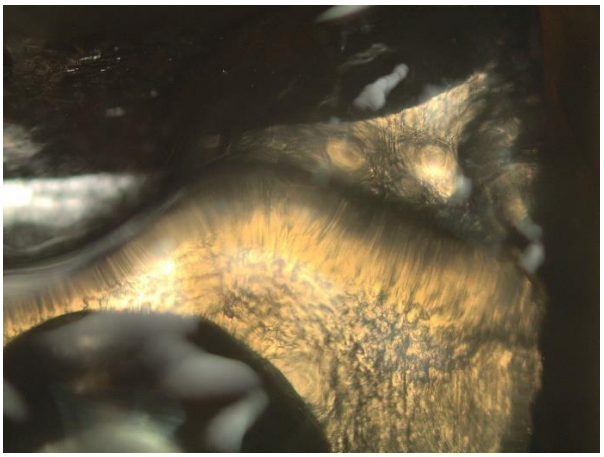

FIGURA 8. Rolamento 6203 Marca A 50x Fonte: Autora (2019).

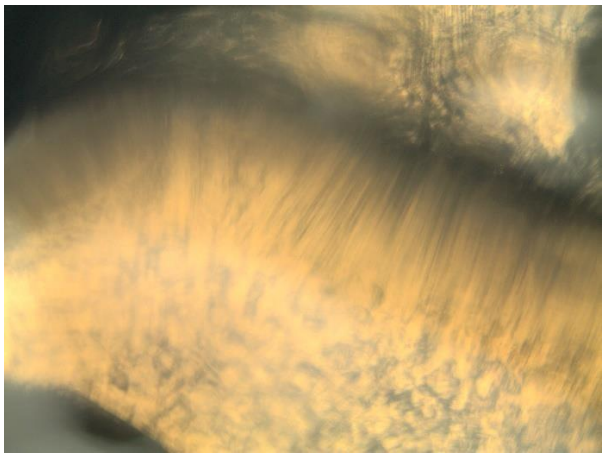

FIGURA 9. Rolamento 6203 Marca A 100x Fonte: Autora (2019).

FIGURA 10. Rolamento 6202 Marca B 50x Fonte: Autora (2019).

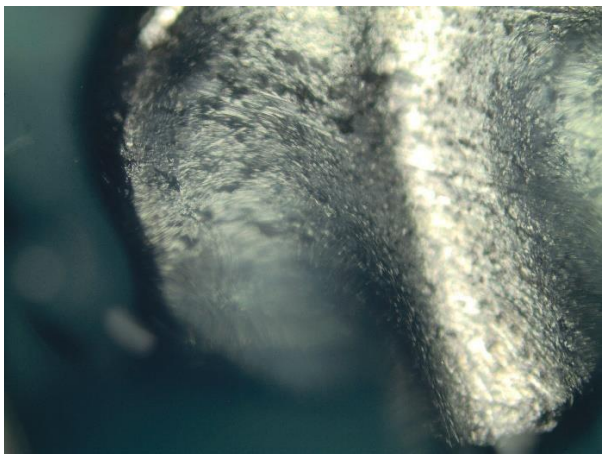

FIGURA 11. Rolamento 6202 Marca B 100x Fonte: Autora (2019).

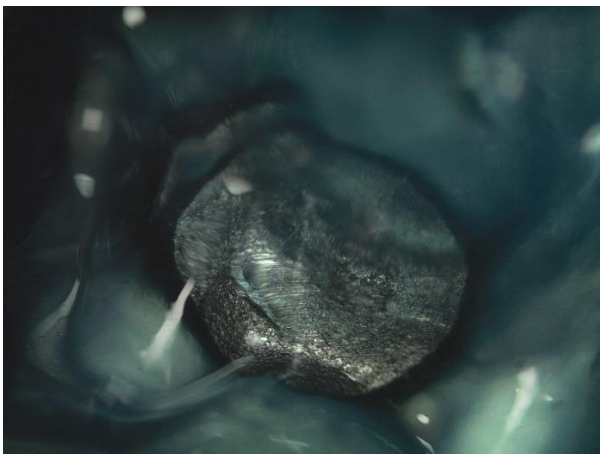

FIGURA 12. Rolamento 6203 Marca B 50x Fonte: Autora (2019).

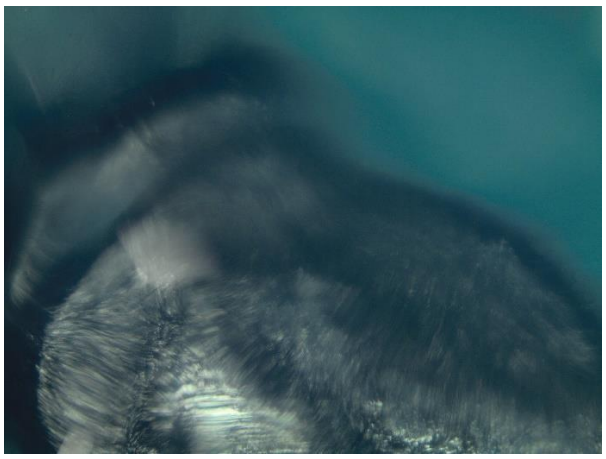

FIGURA 13. Rolamento 6203 Marca B 100x Fonte: Autora (2019).

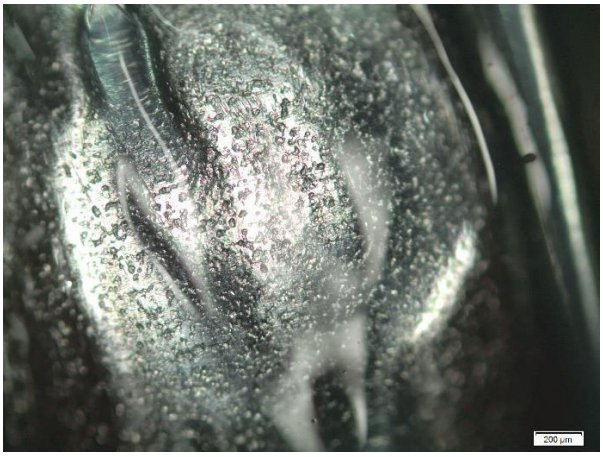

FIGURA 14. Rolamento 6202 Marca C 50x
Fonte: Autora (2019).

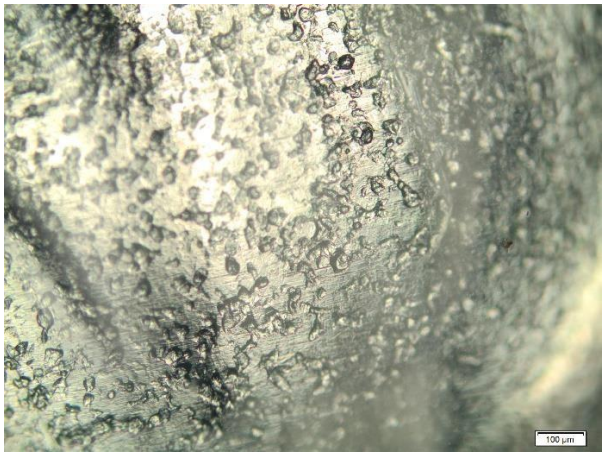

FIGURA 15. Rolamento 6202 Marca C 100x
Fonte: Autora (2019).

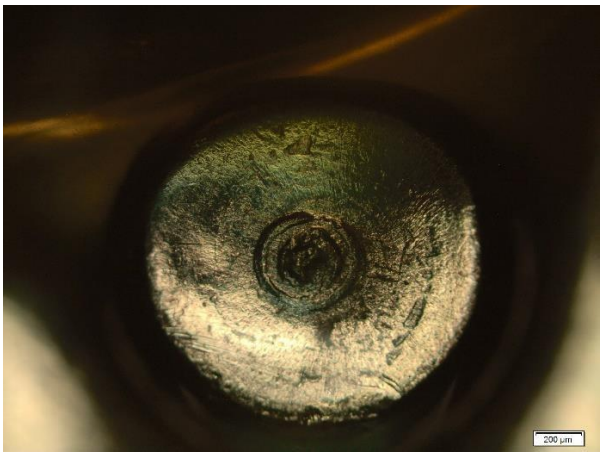

FIGURA 16. Rolamento 6203 Marca C 50x
Fonte: Autora (2019).

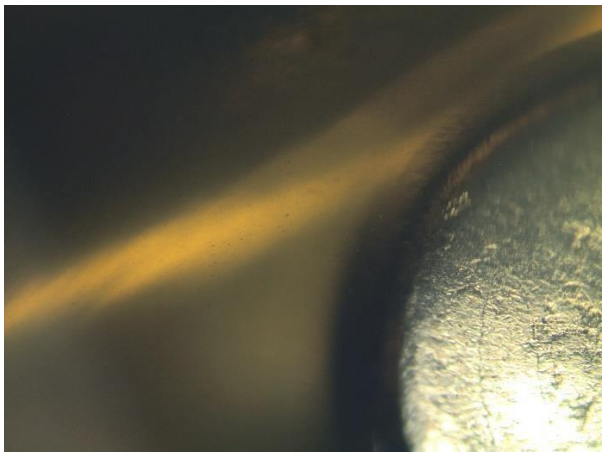

FIGURA 17. Rolamento 6203 Marca C 100x
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 18. Rolamento 6202 Marca D 50x
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 19. Rolamento 6202 Marca D 100x
Fonte: Autora (2019).

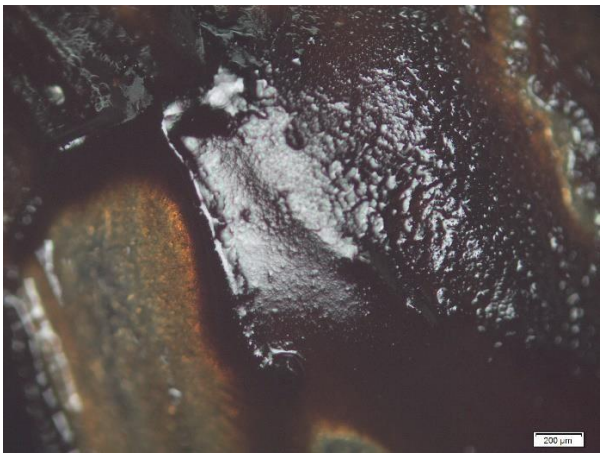

FIGURA 20. Rolamento 6203 Marca D 50x
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 21. Rolamento 6203 Marca D 100x
Fonte: Autora (2019).

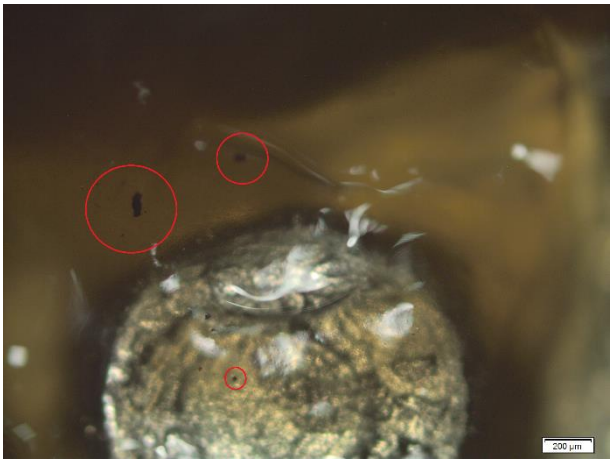

FIGURA 22. Rolamento 6202 Marca E 50x
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 23. Rolamento 6202 Marca E 100x
Fonte: Autora (2019).

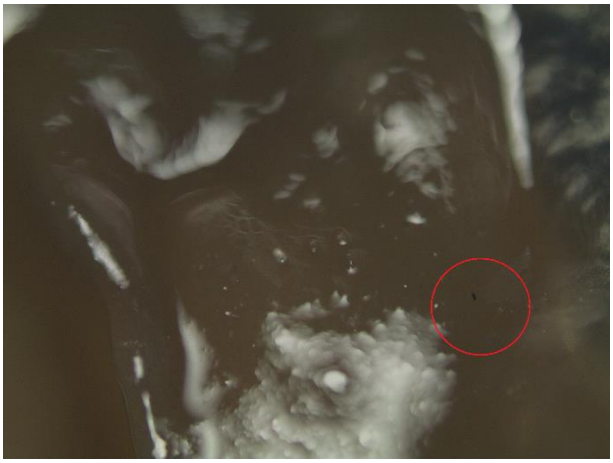

FIGURA 24. Rolamento 6203 Marca E 50x
Fonte: Autora (2019).

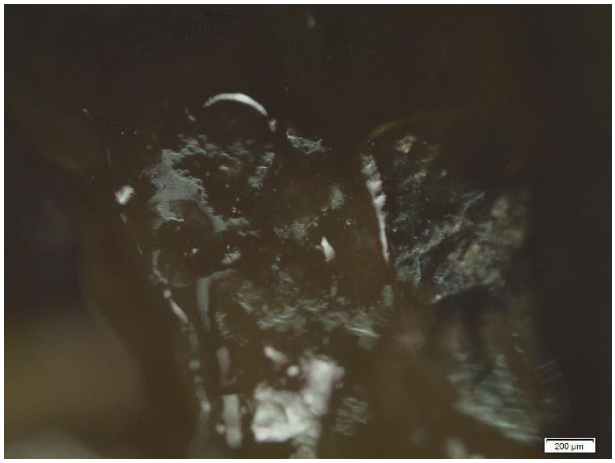

FIGURA 25. Rolamento 6203 Marca E 100x
Fonte: Autora (2019).

De acordo a análise das imagens do teste de contaminação da graxa, pode-se perceber que os rolamentos das marcas D e E possuem partículas na graxa, circulados em vermelho, logo estavam contaminados, provavelmente com poeira ou desgaste do material do rolamento.

3.2. Teste de Consistência

O aspecto de uma graxa é determinado por fatores como a consistência, Tabela 1. Para escolher a consistência ideal para alguma aplicação são avaliadas as condições em que a graxa vai operar, velocidade, temperatura, alinhamento do eixo. A viscosidade do óleo de base que possui na composição da graxa também é um fator relevante.

Segundo Stachowiak e Batchelor (2014), a consistência da graxa deve ser suficiente para manter a sua massa uniforme sobre a superfície dos equipamentos nas determinadas condições de trabalho. Na Tabela 2 tem-se a classificação dos rolamentos analisados obtida através do teste de consistência.

TABELA 1. Escala de classificação da consistência da graxa segundo a NLGI.

Número NLGI	ASTM 60 ataques de penetração trabalhada (10^{-1} mm)	Aparência na temperatura ambiente
000	445 - 475	Muito fluído
00	400 - 430	Fluido
0	355 - 385	Semi-fluido
1	310 - 340	Muito macio
2	265 - 295	Macio
3	220 - 250	Médio duro
4	175 - 205	Duro
5	130 - 160	Muito duro
6	85 - 115	Extremamente duro

Fonte: SKF (2011).

TABELA 2. Classificação das graxas dos rolamentos analisados.

MARCAS	ROLAMENTO	
	NGLI - 6202	NGLI - 6203
A	1	1
B	2	2
C	2	3
D	2	0
E	1	3

Fonte: Autora (2019)

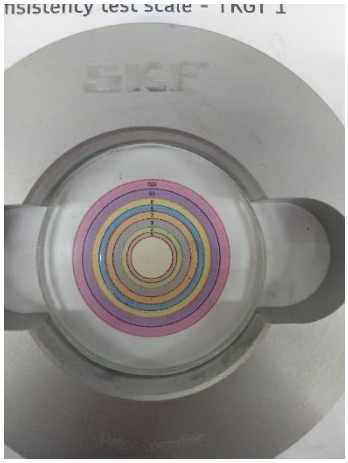

FIGURA 26. Rolamento 6202 Marca A.
Fonte: Autora (2019).

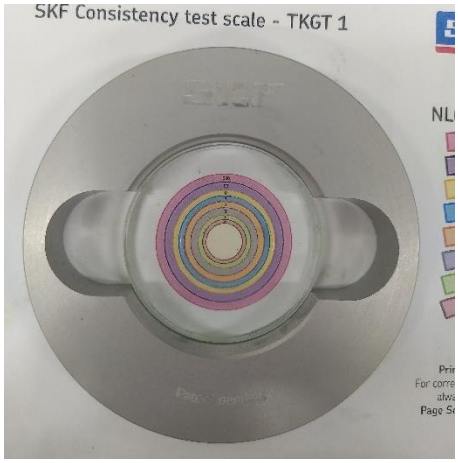

FIGURA 27. Rolamento 6203 Marca A
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 28. Rolamento 6202 Marca B.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 29. Rolamento 6203 Marca B.
Fonte: Autora (2019

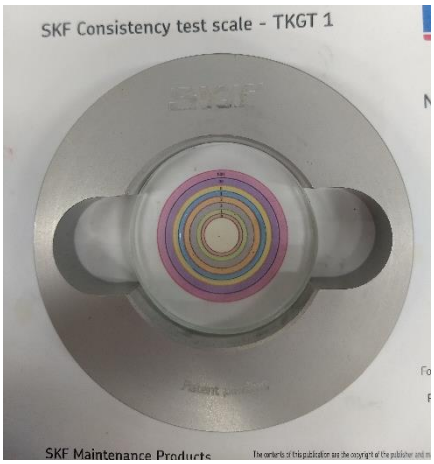

FIGURA 30. Rolamento 6202 Marca C.
Fonte: Autora (2019).

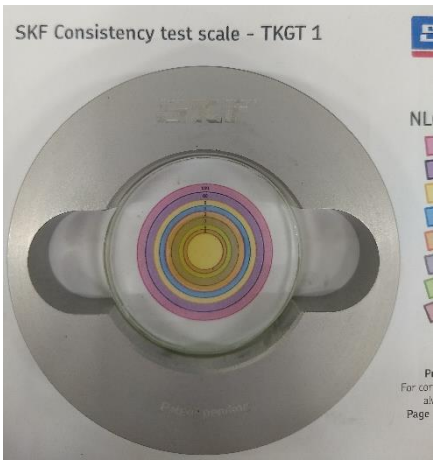

FIGURA 31. Rolamento 6203 Marca C.
Fonte: Autora (2019)

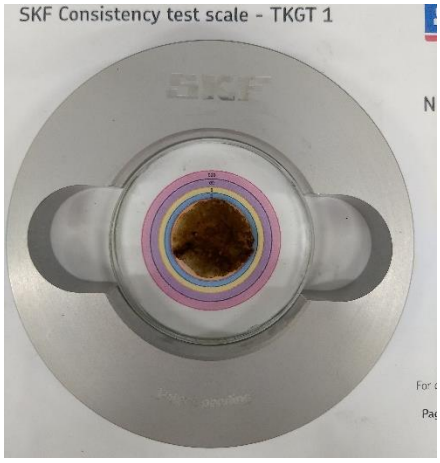

FIGURA 32. Rolamento 6202 Marca D.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 33. Rolamento 6203 Marca D.
Fonte: Autora (2019)

FIGURA 34. Rolamento 6202 Marca E.
Fonte: Autora (2019

FIGURA 35. Rolamento 6203 Marca E.
Fonte: Autora (2019).

Os resultados acima foram obtidos a partir do processo do teste de Consistência da graxa, com ele obtive os dados da Tabela 2, usados para analisar o tipo de graxa dos rolamentos.

Como os testes foram realizados após o funcionamento do motor para análise de vibração não foi possível a realização dos testes dos rolamentos antes do uso, devido a pequena quantidade de graxa presente nos rolamentos, já que estes eram de diâmetro pequeno.

3.3. Teste de Sangria

Como não seria possível retirar a graxa do rolamento antes de realizar o teste nele montado no motor, não foi possível ter o valor de sangria da graxa nova usada no rolamento, por isso comparei com um valor ideal, já que não seria viável a realização da comparação retirando as graxas do próprio rolamento. O teste foi realizado apenas com as graxas retirados dos rolamentos após serem testados no motor.

FIGURA 36. Rolamento 6202 Marca A.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 37. Rolamento 6203 Marca A.
Fonte: Autora (2019).

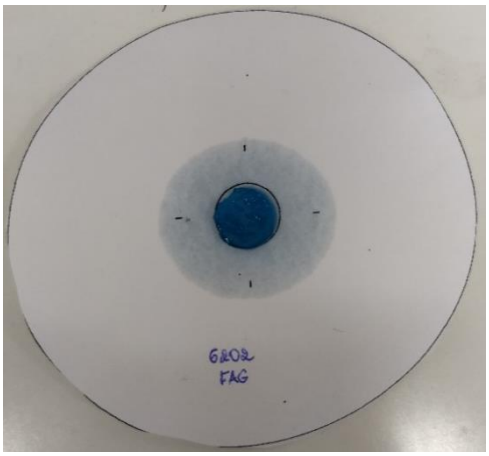

FIGURA 38. Rolamento 6202 Marca B.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 39. Rolamento 6203 Marca B.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 40. Rolamento 6202 Marca C.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 41. Rolamento 6203 Marca C.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 42. Rolamento 6202 Marca D.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 43. Rolamento 6203 Marca D.
Fonte: Autora (2019).

FIGURA 44. Rolamento 6202 Marca E.
Fonte: Autora (2019).

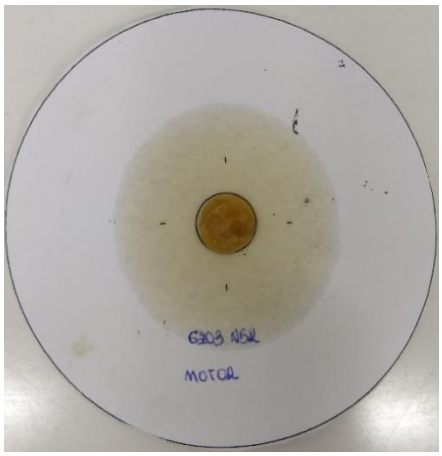

FIGURA 45. Rolamento 6203 Marca E.
Fonte: Autora (2019).

Os resultados obtidos por meio do teste de sangria encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Diâmetros obtidos após o óleo ser liberado da graxa.

AMOSTRAS	6202		6203	
	D1	D2	D1	D2
A	48,50	46,00	44,00	44,50
B	29,00	24,00	29,00	30,00
C	24,50	29,00	39,00	35,00
D	36,00	30,00	38,00	38,00
E	36,50	36,00	39,50	40,00

Fonte: Autora (2019).

A partir dos diâmetros encontrados na Tabela 3, foi possível calcular o diâmetro médio das amostras dos rolamentos, a área de superfície de sangria e a porcentagem de diferença entre a área sangrada da amostra referencial e da amostra modificada. Esses resultados estão na Tabela 4. Como o resultado obtido foi negativo, conclui-se que o sangramento é então reduzido.

TABELA 4. Diâmetro médio obtido após o óleo ser liberado da graxa.

DIÂMETRO MÉDIO	6202	6203
A	47,25	44,25
B	26,50	29,50
C	26,75	37,00
D	28,00	38,00
E	36,25	39,75

Fonte: Autor (2019).

TABELA 5. Resultados obtidos após o óleo ser liberado da graxa.

SUPERFICIE DE SANGRIA	6202	6203
A	1684,06	1239,79
B	472,76	604,64
C	953,03	996,16
D	483,21	1055,04
E	536,94	1161,85

Fonte: Autor (2019).

TABELA 6. Valor de sangria ideal usado para comparação

AMOSTRA IDEAL	X
Diâmetro Médio	43
Superfície de Sangria	1373,66
% de Diferença	0,00

Fonte: Autora (2019).

TABELA 6. Resultados obtidos após o óleo ser liberado da graxa.

% de Diferença	6202	6203
A	22,59656684	-9,7455
B	-65,58391451	-55,9833
C	-30,6211144	-27,4813
D	-64,82317313	-23,195
E	-60,91172488	-15,4194

Fonte: Autora (2019)

4. CONCLUSÕES

Os rolamentos adquiridos através de fornecedores testados neste trabalho apresentaram contaminantes na graxa.

Rolamentos armazenados em condições diferentes das indicadas pelo fabricante possuem defeitos que não são percebidos pela equipe de montagem. Quando isso acontece, os rolamentos são montados para operar e, como consequência, o período de vida útil dos rolamentos é menor, podendo vir a causar uma falha no equipamento.

Este estudo é importante para fixar a relevância dos cuidados no armazenamento dos rolamentos e equipamentos das indústrias. Em várias condições os rolamentos ainda não recebem o cuidado necessário com seu armazenamento, principalmente quanto ao controle com as variações do ambiente e sua posição no local.

A ideia é divulgar esta informação para que as empresas façam análise dos rolamentos presentes no estoque, para que não exista a possibilidade de uso de um rolamento já com defeitos nos seus elementos, na pista externa, pista interna, elemento rolante ou na gaiola.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. D. A.; BRITO, J. N.; LAMIM, P. C. M., Identificação de falhas em rolamentos através da detecção de Envelope e da decomposição em Wavelets. CREEM, 2007.

APPLIED INDUSTRIAL TECHNOLOGIES. 2010. Bearing Facts. Disponível em: http://web.applied.com/base.cfm?page_id=3549. Acesso em: 19/09/2019.

HERGUTH, B., Grease analysis: monitoring greases serviceability and bearing conditions. Practicing oil analysis periodic, March-April, pp. 18-25, 2002.

LARA, H. S.; BRITO, J. N., Análise de rolamentos submetidos a diferentes lubrificações por Redes Neurais Artificiais. CONTECC, 2014.

Mesquita, A. L. A., Santiago, D. F. A., Bezerra, R. A., Miranda, U. A., Dias, M. e Pederiva. R., Detecção de Falhas em Rolamentos Usando Transformadas Tempo-Frequência - Comparação com Análise de Envelope, Mecânica Computacional, 2002, Vol. XXI, pp. 1938-1954.

PEREIRA, J. G.; BRITO, L. C.; BRITO, J. N., Análise de falhas no motor elétrico através da análise de graxa. COEN, 2011.

ROSA, R. A., PAULA, U. M., SALES, M. H. e BRITO, J. N. 2017. A Importância da Lubrificação na Vida Útil dos Equipamentos. VII Congresso de Engenharias, VII COEN, 28 de agosto a 01 de setembro de 2017. São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil.

Reis, R. A., Lacerda A. L. M., Lamim Filho, P. C. M., Brito, J. N., 2010, "Estudo da decomposição de sinal por Wavelet para diagnosticar defeitos em rolamentos", 9º SIMMEC, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, MG, Brasil.

SALES, M. H.; ALVES, J. V. T.; BRITO, L. C.; PEREIRA, J. G.; BRITO, J. N., Monitoramento das condições de rolamentos utilizando análise de graxa. CONEM, 2012 SKF, M. P., Instructions for use – test kit analysis grease TKGT 1. Proc. In CD-ROM by kit, 2011.

SKF, M. P. Instruction for Use - Test Kit Analysis Grease TKGT 1. Proc. In CD-ROM, 2011.

SKF, 2011, Kit para Análise de Graxa TKGT 1 da SKF, 19 September 2011 <http://www.mapro.skf.com/products_p/lub_tkgt1.htm>.

STACHOWIAK, G.; BATCHELOR, A. W. Chapter 3 - Lubricants and Their Composition. In: Engineering Tribology. Butterworth-Heinemann, Boston, EUA, pp. 51-104, 2014.