

Sistema de detecção de partículas metálicas em óleo lubrificante

Eduardo de Sousa Barbosa, eduardo.barbosa@ufu.br¹
Lucas Altamirando De Andrade Da Rocha, lucasaarocha@ufu.br¹
Karina Mayumi Tsuruta, karinamt@ufu.br¹
Aldemir Aparecido Cavalini Jr, aacjunior@ufu.br¹

¹LMEst – Laboratório de Mecânica das Estruturas, Universidade Federal de Uberlândia, Escola de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, 38408-100, Brasil

Resumo. Este artigo tem como principal objetivo apresentar o sensor de particulados metálicos, desenvolvido no Laboratório de Mecânica de Estruturas (LMEst)¹. O foco central do sensor reside na sua capacidade de detecção de partículas metálicas presentes no óleo lubrificante, especialmente em máquinas que fazem uso de mancais hidrodinâmicos, sem a necessidade de interromper o funcionamento do equipamento para a coleta de amostras de óleo para o ensaio em laboratório. Os ensaios do equipamento se deram de forma a encontrar a melhor configuração para a instalação da placa do transdutor no conjunto do sensor e melhorar os resultados. Com os testes, foi possível determinar a capacidade mínima de trabalho do sensor, capaz de detectar particulados maiores de 150 micrômetros, que se acumulam entre as trilhas da placa projetada.

Palavras chave: óleo lubrificante, mancal hidrodinâmico, sensor de particulado, partículas metálicas, contaminação de óleo

Abstract. This article aims to present the metallic particulates sensor developed at the Laboratório de Mecânica de Estruturas (LMEst)¹. The main focus of the sensor is its ability to detect metallic particles present in lubricating oil, especially in machines that use hydrodynamic bearings, without the need to interrupt the operation of the equipment to collect oil samples for laboratory testing. The equipment tests were conducted to find the best configuration for installing the transducer plate in the sensor assembly and to improve the results. With the tests, it was possible to determine the minimum working capacity of the sensor, capable of detecting particulates larger than 150 micrometers, which accumulate between the tracks of the designed chip.

Keywords: lubricating oil, hydrodynamic bearing, particulate sensor, metallic particles, oil contamination

1. INTRODUÇÃO

Os mancais hidrodinâmicos desempenham um papel crucial na operação eficiente e duradoura de máquinas rotativas, o que proporciona suporte e reduz o atrito entre as partes móveis, o que contribui significativamente para a sua confiabilidade e vida útil estendida. As máquinas rotativas que dependem de óleo como agente lubrificante para suas partes móveis estão suscetíveis a uma variedade de falhas estruturais, especialmente quando os mancais hidrodinâmicos perdem a camada de óleo que os protege. Essa perda de lubrificação resulta em atrito entre as peças metálicas do equipamento, o que desencadeia o surgimento de limalhas e partículas metálicas que contaminam o óleo lubrificante.

Os efeitos dessas impurezas não controladas podem ser vastos e prejudiciais. Elas têm o potencial de provocar danos consideráveis, tais como abrasão e desgaste prematuro dos componentes, elevação da temperatura de operação e redução geral da eficiência do sistema, Noria (2023). Adicionalmente, a presença contínua de partículas metálicas pode comprometer a qualidade do lubrificante, de forma a diminuir sua capacidade de proteção contra o desgaste e aumentam substancialmente o risco de falhas catastróficas. Além disso, a identificação desses particulados indica a ocorrência de falhas no sistema, que devem ser corrigidas para evitar maiores danos futuros e um maior gasto com a quebra de tais equipamentos.

Este trabalho é constituído do projeto inicial do sensor, das etapas de testagem da placa e dos componentes que incluem todo o equipamento e da apresentação dos resultados obtidos.

Portanto, torna-se necessário estabelecer e implementar medidas abrangentes de monitoramento e controle, que visam atenuar os impactos adversos dessas partículas contaminantes. Através dessas ações, podemos assegurar um desempenho confiável e prolongado dos mancais hidrodinâmicos e garantir assim a operação estável e eficiente das máquinas rotativas em questão.

2. PROJETO DO SENSOR

Para a detecção eficaz da presença de partículas metálicas no óleo lubrificante, foi desenvolvido um sensor composto por dois conjuntos de trilhas condutoras, que opera de maneira a identificar a ocorrência de um curto-circuito entre um par de trilhas quando um grão metálico está presente. A detecção desse sinal é realizada por meio de um analisador lógico de sinais, que permite uma leitura precisa e confiável.

A concepção do sensor envolveu um planejamento que visou facilitar sua manufatura. A placa do sensor foi projetada com a menor distância possível entre as trilhas, conforme a Figura 1 o que proporciona assim maior superfície de contato para a detecção das partículas. Essa distância entre as trilhas foi especificada em 150 micrômetros, para garantir uma sensibilidade otimizada do sensor. Além disso, as trilhas foram organizadas de maneira estratégica, para permitir que cada extremidade pudesse ser soldada em conjunto com um cabo comum para cada polo, de forma a facilitar o processo de instalação e conexão do sensor ao sistema de monitoramento, diferente de outras metodologias que utilizam de sensores magnéticos, Quintaes (2010) ou indutivos Zhang *et al.* (2021).

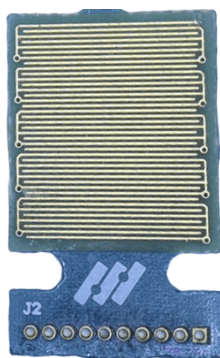


Figura 1. Sensor de particulado.

Além disso, como parte integrante do sistema, incorporamos uma bomba de óleo para viabilizar o movimento do fluido durante os testes. A bomba utilizada funciona por meio de um diafragma movido por um motor elétrico, e foi escolhida devido a sua vazão e pela adição dos particulados, que danificaria uma bomba de engrenagem, por exemplo. Adicionalmente, foi adicionado um pequeno reservatório com um dispositivo de mistura acima do sensor, com o propósito de assegurar uma dispersão mais homogênea dos particulados no óleo, e que também funciona como funil para a entrada de óleo na parte superior do compartimento do sensor. Esse reservatório se mostrou necessário na montagem para que a bomba tivesse melhor funcionamento e que os particulados acrescentados pudessem ficar cada vez mais homogêneos no líquido durante o funcionamento do circuito. Em todo momento, era possível verificar como o sistema estava se comportando graças a uma chapa de acrílico transparente adicionada como janela na *case*. A bancada de testes é apresentada na Fig. 2.

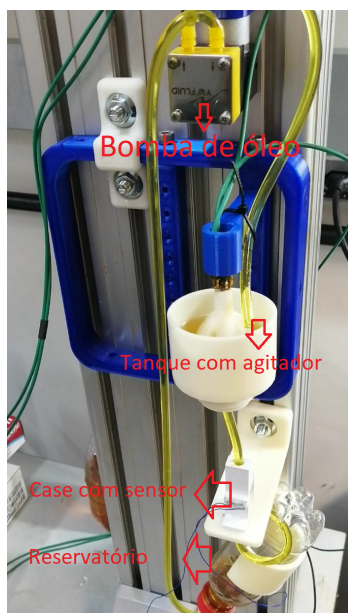


Figura 2. Bancada de testes.

3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Para conduzir os ensaios de forma meticulosa e abrangente, estabelecemos um cronograma detalhado que contemplou a avaliação de diversas iterações de suportes destinados ao sensor. O objetivo era alcançar a configuração ótima para a montagem final para obter a máxima eficiência. Esses alojamentos, ou *case* foram concebidos através de *softwares* de design assistido por computador (CAD) e, posteriormente, fabricados por meio tecnologia de impressão 3D. Essa abordagem de fabricação foi adotada devido à sua praticidade e versatilidade.

A primeira versão da *case* foi feita para ser apenas um suporte para o gotejamento de óleo na superfície do sensor, conforme a Fig. 3. No entanto, à medida em que os testes progrediam, foi constatado que uma inclinação negativa do sensor se mostrava mais vantajosa, visto que essa inclinação possibilitava que o óleo que incidisse sobre a placa escorresse de maneira mais eficiente, o que aumenta a probabilidade de fechamento do circuito elétrico pelos particulados e minimiza possíveis acúmulos de material.

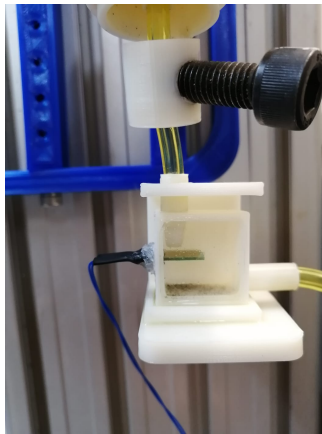


Figura 3. Primeira *case* desenvolvida.

O sensor foi alimentado por um regulador de tensão com saída de 3,3 V e, para a leitura do sinal, foi utilizado um analisador de sinais digitais USB, conectado ao computador. Por meio do software *Logic™*, foi possível verificar quando o sensor encontrava particulados no óleo, sendo observado pela mudança no nível lógico de leitura, como observado na Fig. 4.



Figura 4. Sinal obtido no software *Logic™*, indicando ocorrência de particulado.

Para os experimentos, utilizamos como exemplo de particulado limalha de aço inoxidável, devido à sua disponibilidade e facilidade de obtenção. Durante os testes, variamos a quantidade desse material em relação ao volume de óleo utilizado. A menor quantidade avaliada foi de 0,25 gramas para 50 ml de óleo, volume necessário para preencher completamente o sistema hidráulico do experimento, conforme a Fig. 5.

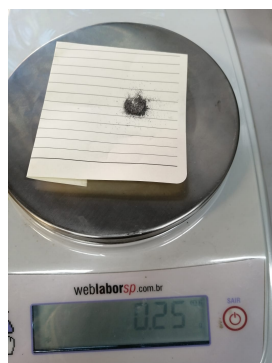


Figura 5. Particulado metálico.

Dado a característica de acúmulo de particulado em quinas do sensor, cantos arredondados foram acrescentados no suporte da placa para evitar o turbilhonamento do óleo e melhorar o funcionamento do sistema como um todo. O ajuste do filme de óleo desempenhou um papel crucial nesse processo. Ele foi cuidadosamente otimizado para garantir um fluxo contínuo e sem interrupções, enquanto também evitava a formação de turbulências no fluido. Isso foi fundamental para evitar que os particulados se dispersassem de forma desigual no óleo. Entretanto, observou-se que o tamanho dos particulados metálicos desempenhou um papel significativo no comportamento do sistema. Uma espessura de filme de óleo maior do que um mm tendia a fazer com que os materiais particulados flutuassem no líquido, o que compromete a eficácia da medição.

Por outro lado, uma espessura menor do filme de óleo poderia resultar no acúmulo de particulados na entrada do sensor e prejudicar tanto o fluxo do fluido quanto a precisão da detecção das ocorrências. Este equilíbrio delicado entre a espessura do filme de óleo e o comportamento dos particulados destacou a importância de um ajuste preciso para garantir o desempenho ideal do sistema. Foi pensado que, ao adicionar uma rampa antes da passagem de óleo na superfície do sensor, a passagem do líquido no circuito fosse otimizada, porém se mostrou ineficaz devido ao acúmulo de particulado e o surgimento de bolhas no sistema, que são interferem no contato das partículas com a superfície das trilhas, impedindo o contatos entre elas.

A análise dos experimentos revelou que a configuração mais eficaz para o sensor foi aquela em que uma inclinação de 10° foi aplicada à sua base, combinada com a utilização de uma barreira superior para garantir um filme de óleo com espessura de um mm. Esta combinação resultou em uma medição precisa da ocorrência de particulados maiores que a distância entre as trilhas, de 150 micrômetros, alinhado exatamente com as expectativas previamente estabelecidas e detalhadas na Fig. 6.

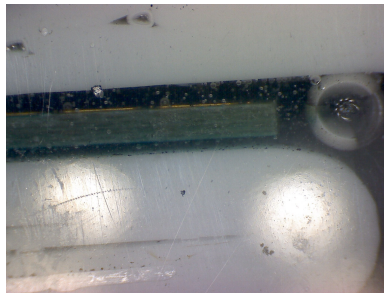


Figura 6. Filme de óleo que proporcionou a melhor captação.

Ademais, o sensor projetado é uma excelente maneira de se fazer a testagem dos fluidos usados nas máquinas rotativas sem a necessidade de interromper o funcionamento do equipamento, o que gera perdas no lucro e atrapalha o fluxo de fabricação nas fábricas, para ajudar no cronograma de manutenção preventiva e corretiva de diversos equipamentos importantes na indústria brasileira. A Fig. 7 apresenta a melhor configuração encontrada para a *case* de testes para o sensor.

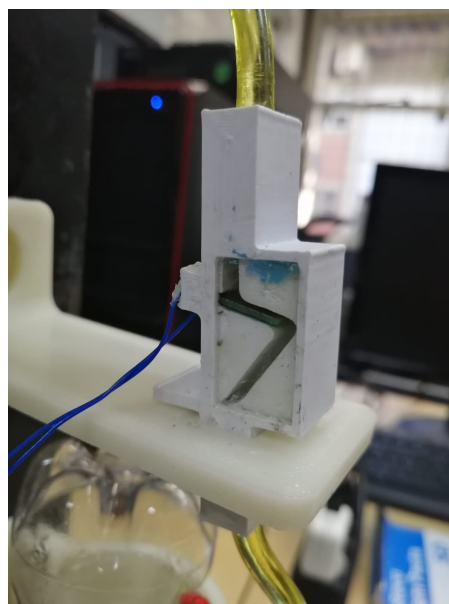


Figura 7. Melhor case testada.

4. CONCLUSÃO

Dessa forma, o sistema projetado se mostrou eficiente para a leitura de ocorrências dos particulados metálicos no óleo, porém, para partículas muito finas, menores do que a distância de 150 micrômetros das trilhas do sensor, não foi possível a detecção, o que permite apenas a leitura de situações onde as falhas do mancal já são expressivas para que material do tamanho do testado no experimento sejam geradas pelo atrito entre os materiais ou pela contaminação externa.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de pesquisa brasileiras CNPq (406148/2022-8), FAPEMIG e CAPES, através do INCT-EIE, pelo suporte financeiro fornecido para este trabalho de pesquisa. Além disso, desejam agradecer à Petrobras pelo apoio técnico e financeiro prestado.

6. REFERÊNCIAS

- Noria, 2023. “O papel da análise de Óleo e contagem de partículas”. URL <https://www.noria.com.br/potenciando-o-desempenho-dos-equipamentos-o-papel-da-analise-de-oleo-e-contagem-de-particulas/>.
- Quintaes, F.d.O., 2010. “Sistema de sensoriamento eletromagnético utilizado para detecção da contaminação do óleo isolante do motor no método de elevação artificial do tipo bombeio centrífugo submerso. 2010. 177 f. tese (doutorado em pesquisa e desenvolvimento em ciência e engenharia de petróleo) - universidade federal do rio grande do norte, natal, 2010.”
- Zhang, H., Shi, H., Li, W., Ma, L., Zhao, X., Xu, Z., Wang, C., Xie, Y. and Zhang, Y., 2021. “A novel impedance micro-sensor for metal debris monitoring of hydraulic oil”. *Micromachines*, Vol. 12, pp. 1–13. ISSN 2072666X. doi:10.3390/mi12020150.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.