

Implementação de Sistema de Lubrificação Automática e Filtro Offline em Aerogeradores

Fabrizio André Rörig¹, Gustavo Pombo Filippon², Alexandre Simon Shyu³

fabricio.rorig@statkraft.com¹, gustavo.filippon@statkraft.com², alexandre.shyu@statkraft.com³

RESUMO

A indústria de energia eólica vem experienciando falhas precoces de importantes componentes de aerogeradores, com a maioria dessas falhas envolvendo rolamentos. Estudos recentes estimam que somente 10% de todos os rolamentos de turbinas eólicas operam propriamente ao longo de todo seu ciclo de vida, sendo 36% de todas as falhas prematuras em rolamentos causadas por falta de lubrificação apropriada, o que se combinado com o percentual de rolamentos danificados por lubrificantes contaminados, chega a 50% [1][2]. No presente trabalho são apresentados dois sistemas implementados em aerogeradores para melhorar a lubrificação de rolamentos: sistema de lubrificação automática, filtro offline na gearbox.

Palavras-chaves:

Lubrificação automática; Rolamentos; Filtro Offline; Manutenção; Automação.

ABSTRACT

The wind energy industry has been experiencing early failures of important wind turbine components, with most of these failures involving bearings. Recent studies estimate that only 10% of all wind turbine bearings operate properly throughout their entire life cycle, with 36% of all premature failures in bearings being caused by lack of proper lubrication, which if combined with the percentage of bearings damaged by contaminated lubricants, reaches 50% [1][2]. In the present work, two systems implemented in wind turbines to improve the lubrication of bearings are presented: automatic lubrication system, gearbox offline filter.

Keywords:

Automatic Lubrication; Bearings; Offline Filter; Maintenance; Automation.

1. INTRODUÇÃO

Até o início de 2023, o Brasil registra 890 parques eólicos instalados, somando 25,04 GW de capacidade instalada em operação comercial, e projeções mostram que esse número deve chegar a 44,78 GW até 2028 [3]. A geração de energia eólica traz benefícios econômicos e ambientais que superarão os métodos tradicionais de geração de energia a longo prazo, no entanto, o crescimento acelerado da indústria eólica também trouxe novos desafios [4].

As complexas condições operacionais, como rápidas alterações de temperatura, pressão do ar, velocidade

do vento e cargas, fazem desses equipamentos extremamente vulneráveis a falhas, com destaque para falhas em rolamentos, que são os componentes principais de seções críticas, e têm efeito significativo no sistema de transmissão, o que ajuda a fornecer um movimento de rotação suave. Estudos recentes estimam que somente 10% de todos os rolamentos de turbinas eólicas operam propriamente ao longo de todo seu ciclo de vida, sendo 36% de todas as falhas prematuras em rolamentos causadas por falta de lubrificação apropriada, o que se combinado com o percentual de rolamentos danificados por lubrificantes contaminados, chega a 50% [1][2].

Como qualquer outro sistema mecânico, turbinas eólicas necessitam lubrificação apropriada para funcionarem de forma ideal. No entanto, diferentemente de máquinas em chão de fábrica, que podem ser facilmente lubrificadas rotineiramente de forma manual, a lubrificação dos aerogeradores requer mão de obra especializada, em locais de difícil acesso, além do frequente monitoramento da condição da lubrificação nos rolamentos.

No presente trabalho são apresentados dois sistemas implementados em aerogeradores para melhorar a lubrificação de rolamentos e engrenagens, de forma a aumentar a produtividade, minimizar impactos ambientais, e melhorar a saúde e segurança dos trabalhadores: implementação de sistema de lubrificação automática; instalação de filtro offline nos equipamentos Gearbox.

2. SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

A lubrificação adequada é essencial para manter os aerogeradores em movimento e minimizar o tempo de inatividade. Sistemas de lubrificação automática estão se tornando padrão em turbinas maiores que 2 MW e são particularmente importantes para unidades offshore. Esses sistemas oferecem melhorias pois reduzem o tempo de inatividade, estendem a vida útil do equipamento, aumentam a eficiência e economizam materiais.

Sistemas de lubrificação automática fornecem lubrificante de forma confiável e precisa para os componentes móveis do aerogerador, enquanto a máquina está em movimento, reduzindo o atrito dentro dos rolamentos e ajudando a evitar a contaminação. Com a lubrificação automática é possível garantir que os rolamentos sempre estão com uma quantidade de lubrificante próxima à ideal, sem a necessidade de mão-de-obra recorrente, diferentemente da lubrificação manual. A exemplificação da efetividade da lubrificação automática em comparação com a manual é apresentada na Figura 1.

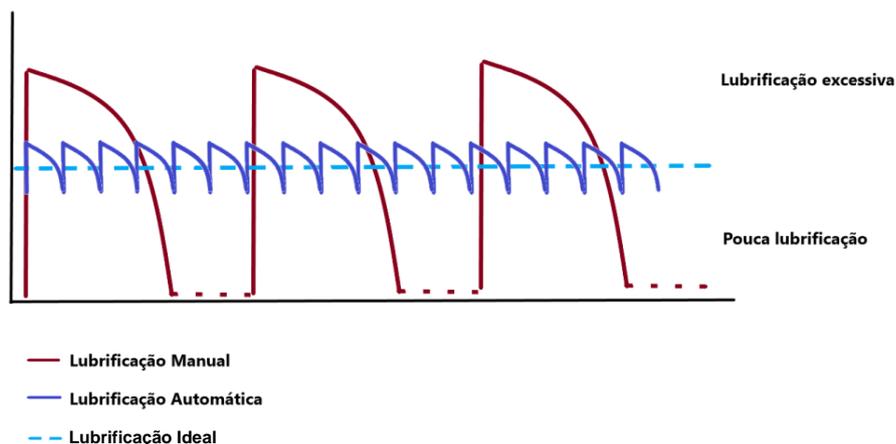


Figura 1 - Comparação entre as lubrificações automática e manual.

2.1 ROLAMENTO PRINCIPAL E FALHAS NA LUBRIFICAÇÃO

O Rolamento Principal é o componente rotativo central de uma turbina eólica, devendo suportar todo o peso das pás e do *hub*, e transmitir o torque gerado pelas pás à Gearbox. Cabe também ao rolamento principal suportar os carregamentos alternados gerados pelo torque das pás, além do próprio peso delas, os requisitos para sua performance mecânica ao longo de sua vida útil são extremamente altos [5].

Dessa forma, o uso de lubrificantes é necessário para evitar o contato direto entre os elementos girantes e a pista [6], formando uma fina camada de óleo na superfície, reduzindo assim a fricção interna no rolamento. Lubrificantes reduzem o desgaste dos rolamentos quando o aerogerador está em operação, e estabilizam a estrutura para manter o equipamento rodando de forma constante e controlada.

A lubrificação inadequada desse rolamento ao longo de sua vida operacional pode afetar diretamente a performance e a confiabilidade do aerogerador, levando à falha prematura do componente. Os modos de falhas nesse rolamento podem ser separados em 3 causas diferentes:

1. Falha no rolamento devido a lubrificação excessiva;
2. Falha no rolamento devido a deterioração do lubrificante;
3. Falha no rolamento devido a lubrificação insuficiente.

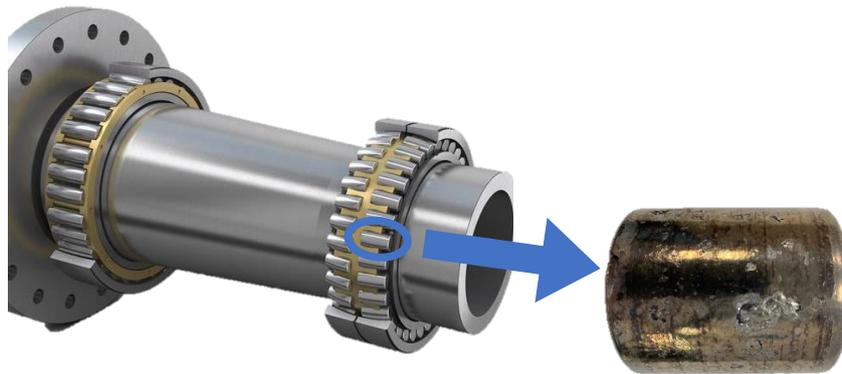


Figura 2 - Elemento rolante de rolamento principal [11] de aerogerador danificado devido a lubrificação insuficiente.

Já os fatores físicos que levam a falhas na lubrificação em rolamentos de aerogeradores estão principalmente ligados à influência da velocidade do rolamento, temperatura e cargas [7]. Como as peças de atrito operam sob condições de alto cisalhamento, o lubrificante está constantemente sujeito a tensão de cisalhamento e força centrífuga, o que causa a destruição de sua estrutura. O desgaste dessa camada de lubrificante levará a fenômenos como a perda de precipitação dele, para fora da interface. Durante o funcionamento do rolamento, ele é jogado para fora do rolamento devido à força centrífuga, resultando finalmente na perda de eficácia do lubrificante [8].

Sabendo que o rolamento principal está propenso a ter falhas prematuras, uma vez que ele deve suportar constantes cargas elevadas, e o difícil acesso torna-o suscetível a problemas relacionados a lubrificação manual falha, o rolamento principal foi selecionado para a instalação de protótipo de sistema de lubrificação automática.

2.2 O PROTÓTIPO

O sistema selecionado é composto por um reservatório onde a graxa é armazenada, uma bomba, e mangueiras conectadas, e fixadas em pontos específicos do rolamento principal, por onde a graxa é bombeada até ele. O equipamento foi instalado próximo ao rolamento principal, em local estratégico para facilitar o preenchimento do reservatório.



Figura 3 – Sistema de lubrificação automática selecionado



Figura 4 – Sistema de lubrificação automática instalado no aerogerador



Figura 5 – Simulação da saída da graxa pelas mangueiras do Sistema de lubrificação automática

2.3 RESULTADOS

Com o protótipo de sistema de lubrificação automática instalado no rolamento principal de um aerogerador, foi possível observar resultados positivos em 3 esferas:

- a. **Redução da exposição a riscos:** O trabalho de realizar lubrificações manuais recorrentes no rolamento principal é perigoso. Esse componente fica em local de difícil acesso dentro da nacela, situada a mais de 80 metros de altura. Por isso, reduzir a frequência de visitas técnicas é um fator mitigatório para potenciais acidentes.
- b. **Extensão da vida útil do equipamento:** Com o sistema instalado, é possível garantir que o rolamento nunca está com excesso ou escassez de graxa. Com a injeção recorrente de lubrificante novo, também se minimiza as chances de falhas por deterioração do lubrificante. Dessa forma, tem-se as melhores condições possíveis para que o rolamento possa funcionar apropriadamente. Para rolamentos previamente danificados, a lubrificação pode auxiliar na extensão da condição

atual, até uma troca do componente, estendendo assim a sua vida útil. O potencial ganho em extensão da vida útil do equipamento é ainda maior se o sistema for instalado em um rolamento novo.

- c. **Redução de custos e geração de resíduos:** com o sistema de lubrificação automática, reduz-se os custos com mão de obra, visto que a frequência de visitas técnicas é reduzida. Contudo, o maior ganho se dá na redução do desperdício com o material. O aumento da eficiência e qualidade da aplicação permite que o sistema utilize um volume menor e mais preciso de lubrificante a cada intervalo de manutenção. Menos graxa também reduz o impacto ambiental do desperdício dela.

3. FILTRO OFFLINE

A filtragem do óleo é um processo crucial para manter a qualidade e a eficiência dos sistemas de lubrificação industrial. O objetivo principal é remover partículas sólidas indesejadas, como poeira, areia, partículas metálicas, resíduos de desgaste e outros contaminantes presentes no óleo lubrificante. Essas partículas podem ser extremamente prejudiciais para componentes mecânicos, causando desgaste, corrosão e danos prematuros [9].

No processo de filtragem, o óleo passa por um elemento filtrante que atua como uma barreira para as partículas sólidas (Figura 6). Em muitos casos, a filtragem convencional não é suficiente para eliminar as partículas de contaminantes e garantir que o óleo flua pelo sistema no grau de limpeza desejado. Nestes casos, é instalado um sistema de filtragem offline, onde o óleo é derivado da linha principal para um circuito paralelo, passando por um filtro e retornando para a Gearbox [10].



Figura 6 – Representação do funcionamento de um filtro offline.

A presença de partículas no óleo lubrificante pode causar danos significativos ao sistema de engrenagens de equipamentos Gearbox de turbinas eólicas, resultando em desgaste prematuro, falhas e, eventualmente, na necessidade de reparos ou substituição dos componentes. Dessa forma, filtros offline podem ser usados para proteger o sistema contra partículas e contaminantes geradas pelo desgaste normal das engrenagens e outros componentes, que podem entrar no óleo lubrificante.

Existem vários tipos de filtros utilizados na indústria para remoção de partículas sólidas do óleo lubrificante. Os filtros de cartucho são compostos por um meio filtrante de alta eficiência, projetado para capturar partículas finas, sendo amplamente utilizados em sistemas que requerem boas precisões de filtragem.

Sabendo da necessidade de uma boa precisão de filtragem da Gearbox de turbinas eólicas, e do potencial de filtros offline de cartucho, foi instalado um protótipo em uma caixa multiplicadora de um aerogerador, para estudar os resultados.

4. RESULTADOS

Com o protótipo de sistema de filtragem offline instalado na Gearbox de um aerogerador, foi possível observar através de análises de óleo realizadas antes e após a instalação do sistema, com um período de 3 meses entre as amostras, a diminuição da quantidade de partículas contaminante (Figura 7), além da redução do teor de água (Figura 8), e do PQI (Figura 9).

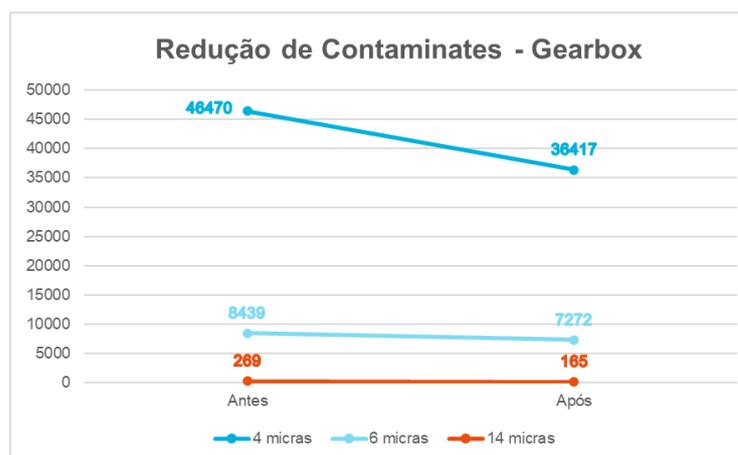


Figura 7 – Variação da quantidade contaminantes no óleo da Gearbox, antes e após a instalação do sistema.

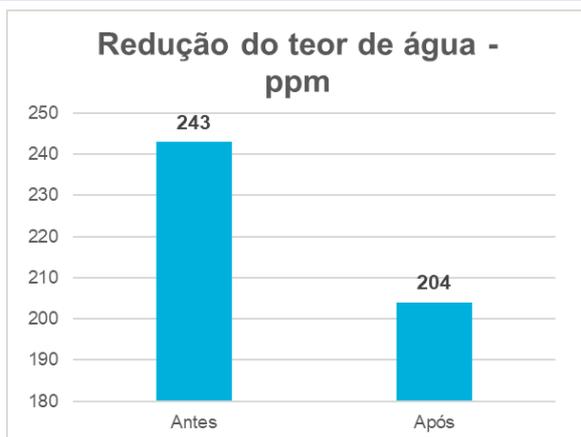


Figura 8 – Variação do teor de água (ppm), antes e após a instalação do sistema

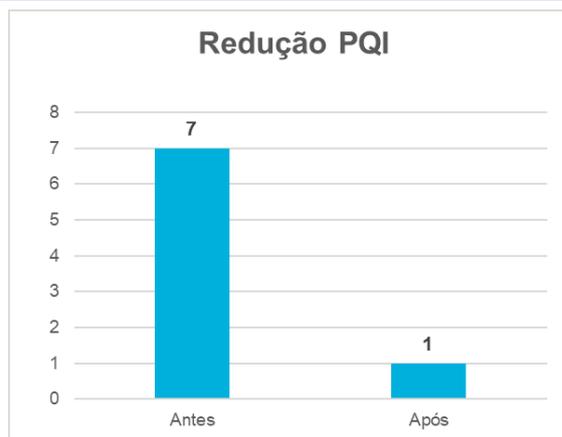


Figura 9 – Variação do PQI, antes e após a instalação do sistema

Apesar do período de amostragem ser curto, já é possível verificar ganhos, porém não muito grandes. Estima-se que em um período de 1 ano após a instalação do sistema de filtragem offline, atinge-se a purificação completa do óleo.

5. CONCLUSÕES

Foram apresentados dois sistemas implementados em aerogeradores para melhorar a lubrificação de rolamentos: sistema de lubrificação automática, filtro offline na Gearbox.

Para o sistema de lubrificação automática, foi possível através do protótipo identificar ganhos através da redução da exposição a riscos ao reduzir a frequência de visitas técnicas; a extensão da vida útil do equipamento ao garantir as melhores condições possíveis para que o rolamento possa funcionar apropriadamente, sendo possível auxiliar na extensão da condição atual de um rolamento previamente danificado até uma troca do componente; além de proporcionar uma redução nos custos e na geração de resíduos através da diminuição dos gastos com mão de obra e desperdícios com a graxa lubrificante.

Já para o caso do sistema de filtro offline instalado na Gearbox, foi possível observar a redução da quantidade de partículas contaminantes, do teor de água, e do PQI, mesmo com um período curto de amostragem após a instalação do sistema, e com a vazão do filtro baixa. Espera-se que com um período de um ano após a instalação do sistema, a purificação completa do óleo seja atingida.

REFERÊNCIAS

- [1] Venci A.; Rac A. Diesel engine crankshaft journal bearings failures: Case study. *Eng. Fail. Anal.*, v. 44, September, p. 217-228, 2014.
- [2] de la Hermosa González, R.R.; Márquez, F.P.G.; Alexander, K.; Papaelias, M. In *Methods and tools for the operational reliability optimisation of large-scale industrial wind turbines*, Proceedings of the Ninth International Conference on Management Science and Engineering Management, Springer: pp 1175-1188, 2015.
- [3] AGÊNCIA BRASILEIRA DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de geração de energia eólica deve bater recorde neste ano. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-04/capacidade-de-geracao-de-energia-eolica-deve-bater-recorde-neste-ano>. [Acessado em 26 de junho de 2023].
- [4] Agarwal T., Verma S., Gaurh A. Issues and challenges of wind energy. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, Chennai, India, pp. 67-72, 2016.
- [5] Islam M., Fartaj A., Carriveau R. Analysis of the Design Parameters Related to a Fixed-Pitch Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbine. *Wind Engineering*. v. 32, n. 5, p. 491-507, 2008.
- [6] Stammer M., Reuter A., Poll G. Cycle counting of roller bearing oscillations—case study of wind turbine individual pitching system. *Renewable Energy Focus*. v. 25. P. S.40-47, 2018.
- [7] Márquez F.P.G., Pérez J.M.P., Marugán A.P., Papaelias M. Identification of critical components of wind turbines using FTA over the time. *Renewable Energy*, v. 87, n.2, p. 869-883, 2016.
- [8] Gershuni L., Larson M.G., Lugt P.M. Lubricant replenishment in rolling bearing contacts. *Tribology Transactions*, 51:5, 643-651, 2018.
- [9] Szeri, A. Z. *Fluid Film Lubrication: Theory and Design* (2nd ed.). Cambridge University Press, 2013.
- [10] Bloch, H. P., Geitner, F. K. Machinery Oil Analysis - Methods, Automation, Benefits, and Limitations. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, v. 7, n. 6, p. 17-27, 2007.
- [11] SKF. *Bearing arrangements for wind turbine main shafts*. Disponível em: <https://www.skf.com/group/industries/wind-energy/drivetrain/main-shaft/bearing-arrangements>. [Acessado em 29 de junho de 2023].