

## ADIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS AO ÓLEO LUBRIFICANTE INDUSTRIAL AW ISO VG 68: UMA ANÁLISE DOS EFEITOS E DAS MELHORIAS NA LUBRIFICAÇÃO

Edilson Soares Ribeiro<sup>1</sup>

Leandro De Oliveira Souza Nunes<sup>2</sup>

**Resumo:** Em decorrência dos avanços tecnológicos relativos ao maquinário industrial nos dias atuais, surgem, concomitantemente, componentes mecânicos que requerem, com grande frequência, novas e melhores condições de lubrificação. A tecnologia relacionada à introdução de nanopartículas metálicas em lubrificantes industriais tem se mostrado de grande relevância na redução de atrito e de desgaste em condições severas de trabalho. Com base nisso, o trabalho objetiva realizar uma análise das propriedades intrínsecas de nanopartículas metálicas, a fim de se obter resultados que possam ser comparados, sob as mesmas condições de trabalho, referentes ao óleo lubrificante industrial AW ISO VG 68 com e sem a aplicação de nanopartículas metálicas. A metodologia da pesquisa classifica-se como um estudo de natureza descritiva de abordagem quali-quantitativa, consolidado na implementação, interpretação e comparação de dados, obtidos por revisões de literatura e também por fonte bibliográfica de caráter técnico. Com a adição de determinadas nanopartículas ao lubrificante, como as de Cobre (Cu), Óxido de Cobre (CuO), Dióxido de Titânio (TiO<sub>2</sub>), Ferro (Fe), Cobalto (Co) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Óxido de Alumínio), obtiveram-se melhorias nos resultados de até 53% no processo de antifricção. Dentre as melhorias, destacam-se as relacionadas ao fator antidesgaste e à resistência a pressões extremas de trabalho, associadas, conseqüentemente, a uma maior vida útil nos componentes mecânicos.

**Palavras-chave:** Nanopartículas metálicas; Óleo AW ISO VG 68; Fator de atrito.

**Abstract:** As a result of technological advances in the scope of industrial machinery nowadays, mechanical components now require new and better lubrication conditions. The technology related to the addition of metallic nanoparticles in industrial lubricants has been shown to be extremely relevant in the reduction of friction and in anti-wear in severe working conditions. Based on this, the present work aims to carry out an analysis of the intrinsic properties of metallic nanoparticles, in order to obtain results that can be compared under the same working conditions, for the industrial lubricating oil AW ISO VG 68 with and without the application of metallic nanoparticles. The Methodology is ranked as a study of descriptive nature with a quali-quantitative approach, consolidated in the implementation, interpretation and comparison of data obtained by several literature reviews and also by a technical related bibliographic source. With the addition of certain metallic nanoparticles to the lubricant, such as Cu (Copper), Copper Oxide (CuO), Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>), Iron (Fe), Cobalt (Co) and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Aluminum Oxide), up to 53% better results were obtained in the antifricction process. Among the improvements, stand out the ones related to the anti-wear factor and resistance to extreme working pressures, which are associated, consequently, with a longer mechanical component lifespan.

**Keywords:** Metal nanoparticles; AW ISO VG 68 oil; Friction factor.

---

<sup>1</sup> Graduando do curso de Engenharia Mecânica, da Faculdade Ciências da Vida - FCV. edilsonribeiro27@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Pós-Graduado em Engenharia de Automação Industrial e Eletrônica Industrial pela UNYLEYA; Professor do curso de Engenharia Mecânica, da Faculdade Ciências da Vida - FCV. leonunesdesign@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a lubrificação na indústria tem demandado uma série de atualizações no quesito tecnologia em decorrência dos avanços das máquinas. A introdução racional de um programa de lubrificação influencia diretamente nos custos na indústria, acarretando: redução de despesas com reposição de peças e lubrificantes, melhora nas condições de segurança do serviço de lubrificação e aumento da produção (ZAMMAR *et al.*, 2017, p. 6).

Nesse sentido, o presente trabalho tem por finalidade realizar uma análise dos efeitos da inserção de nanopartículas metálicas no óleo lubrificante industrial AW ISO VG 68 no que se refere à durabilidade e ao desgaste de equipamentos mecânicos. O óleo em questão é um lubrificante hidráulico muito utilizado no meio industrial. Dessa forma, optou-se por esse óleo devido a sua abrangência de aplicação relacionada às suas características técnicas.

Pode-se afirmar que os nanometais possuem certas propriedades, físicas e químicas, que lhes são exclusivas. Nesse sentido, as consequências em termos de qualidade na aditivação das nanopartículas metálicas em lubrificantes superam os desafios advindos do processo (UFLYAND; ZHINZHILLO; BURLAKOVA, 2018, p. 94).

A escolha do tema em questão justifica-se em virtude da crescente demanda por lubrificantes com tecnologias cada vez mais eficazes, em decorrência das diversas condições severas de trabalho a que está submetido o maquinário industrial na atualidade.

A contribuição científica pertinente a este trabalho fundamenta-se na possibilidade de se adquirir um conhecimento mais aprofundado sobre as propriedades das nanopartículas metálicas no que tange à sua aplicabilidade.

Apesar da grande quantidade de pesquisas que envolvem experimentos referentes à inserção de nanopartículas em lubrificantes, ainda há aspectos que carecem de uma maior profundidade de análise. Tal afirmação torna-se evidente, por exemplo, na questão do comportamento tribológico, sobre o qual ainda existem alguns fatores desconhecidos (GULZAR *et al.*, 2016, p. 3).

Já com relação à contribuição para o meio industrial, este trabalho embasa-se na possibilidade de se obter um lubrificante com melhor capacidade em termos de redução no atrito e desgaste entre os componentes mecânicos das máquinas

durante o processo de lubrificação. Assim, com o emprego da tecnologia de nanopartículas metálicas para aplicações na lubrificação industrial, espera-se adquirir um óleo que apresente bons índices de antifricção.

Diante de tal importância, este trabalho se propõe a buscar respostas ao seguinte questionamento: quais são as melhorias advindas da adição de nanopartículas metálicas ao óleo lubrificante industrial AW ISO VG 68 no que tange a redução do desgaste e à durabilidade das máquinas?

Como pressuposto norteador, tem-se que, com a introdução dos nanometais, há a expectativa de uma melhora significativa no coeficiente de atrito, obtendo-se, com isso, vantagens relacionadas ao desgaste e, conseqüentemente, à vida útil dos componentes mecânicos.

Nanoaditivos exibem um bom desempenho nos lubrificantes nos aspectos de antidesgaste, antifricção e extrema pressão. Isso se dá quando a deposição das nanopartículas no óleo acontece de forma mais dispersa possível (BAO; SUN; KONG, 2017, p. 1).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise das propriedades intrínsecas de nanopartículas metálicas, a fim de se obter resultados que possam ser comparados, sob as mesmas condições de trabalho, referentes ao óleo lubrificante industrial AW ISO VG 68 com e sem a aplicação de nanopartículas metálicas. Trata-se de um trabalho de natureza descritiva de abordagem quali-quantitativa, uma vez que este se baseia na interpretação e implementação de dados, obtidos por diversas revisões de literatura e também por fonte bibliográfica de caráter técnico.

Com relação aos objetivos específicos, são estes: explicar a definição e condições de trabalho do óleo lubrificante industrial AW ISO VG 68; definir o conceito de nanopartículas metálicas e suas características; analisar o processo de adição das nanopartículas metálicas ao óleo lubrificante, bem como as dificuldades encontradas no método de inserção destas, e evidenciar as diferenças nas propriedades do óleo em termos de qualidade após a adição das nanopartículas metálicas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para uma maior compreensão sobre o óleo lubrificante AW ISO VG 68, primeiramente será necessário conhecer o significado de suas siglas traduzidas do inglês: AW (antidesgaste), ISO (Organização Internacional de Padronização), VG (grau de viscosidade) e 68 (média entre a viscosidade mínima e máxima).

De acordo com informações extraídas de uma empresa atuante no ramo de lubrificantes e graxas, trata-se de um óleo utilizado em equipamentos característicos de sistemas hidráulicos e compressores. As especificações técnicas são mostradas na **Tabela 1**, que se segue:

**Tabela 1** – Análises típicas (AW ISO VG 68)

PARÂMETROS	ESPECIFICAÇÕES
Densidade a 20/4 °C	0,8744 g/cm <sup>3</sup>
Ponto de fulgor (VA)	220 °C mín.
Ponto de fluidez	-6 °C
Viscosidade a 40 °C	61,2 – 74,8 cSt
Viscosidade a 100 °C	8,5 – 10,0 cSt
Índice de viscosidade	110 – 120
Índice de acidez total	0,01 mgKOH/g
Corrosão em lâmina Cu, 3 h a 100 °C	1b

**Fonte:** Girux Lubrificantes e Graxas – 2016.

Com base nas informações presentes na ficha técnica fornecida pela empresa, algumas das características de trabalho do óleo AW ISO VG 68 são: utilização sob consideráveis índices de extrema pressão e um bom fator antidesgaste.

### 2.1 Nanopartículas metálicas: definição e características

Em linhas gerais, nanopartículas referem-se às partículas na escala entre 1 (um) e 100 (cem) nanômetros de diâmetro. Definem-se como partículas consideradas ultrafinas que apresentam várias mudanças benéficas em suas propriedades físicas e químicas. Especificamente, trata-se de partículas limitadas à faixa nanométrica caracterizadas por propriedades metálicas que contribuem fortemente para a melhora de óleos lubrificantes. Com a ocorrência, ou melhor, com a transição das dimensões macro para micro de determinado material, surgem

mudanças substanciais em termos de aplicabilidade (MOHAJERANI *et al.*, 2019, p. 2).

Com relação às morfologias (formatos) de nanopartículas, existem cinco tipos: granular, cebola, folha, esférica e tubo (UFLYAND; ZHINZHILO; BURLAKOVA, 2019, p.101).

Em complemento às definições anteriores, nanopartículas apresentam-se em formato tridimensional (três eixos externos). Subdividem-se da seguinte forma: à base de carbono, à base inorgânica, à base orgânica e à base de compósito. Em determinado caso, quando se tem diferenças no tocante ao tamanho dos eixos curto e longo, utiliza-se o termo nanobastão ou nanoplaca (JEEVANANDAM *et al.*, 2018, p. 1051).

Os métodos de obtenção podem ocorrer pelos procedimentos de baixo para cima e de cima para baixo:

Na abordagem ascendente, as partículas de tamanho atômico são convertidas em nanopartículas e a quantidade mínima de formato de partícula idêntica é obtida por muitos testes. Na abordagem de cima para baixo, o tamanho do volume é convertido em partículas nanométricas com quantidade média, mas a forma de partículas desejada não é uniforme (THIRUMALAIKUMARAN, 2017, p.3217).

## **2.2 O processo de adição dos nanometais**

O procedimento de adição das nanopartículas metálicas envolve a análise e a compreensão de determinados fatores que influenciam tribologicamente todo o processo, os quais são: o tamanho, a morfologia, a concentração das nanopartículas e a funcionalização de superfície (UFLYAND; ZHINZHILO; BURLAKOVA, 2019, p.100).

De acordo com os autores, dentre as formas existentes, destacam-se as partículas menores e as de formato esférico, uma vez que estas contribuem, respectivamente, para uma boa dispersão e distribuição de energia (homogênea) no processo, requisitos essenciais nesse tipo de aplicação.

Já com relação à funcionalização de superfície das nanopartículas, estas são protegidas por um revestimento a fim de se conseguir uma boa estabilidade coloidal. Consequentemente, o fenômeno da funcionalização contribui, também, para a desconcentração das partículas, que é de extrema necessidade para manter a

homogeneidade de dispersão no processo de lubrificação (SRIVYAS; CHAROO, 2018, p.600).

Em consonância com os autores anteriores, nota-se que a maior dificuldade aparece, basicamente, no ato de dispersão do nanolubrificante em um tempo considerável. Para mensurar tal análise, normalmente se utiliza como método principal o Espalhamento Dinâmico de Luz (EDL), no qual o raio hidrodinâmico da partícula é medido pelo rastreamento do espalhamento da luz. Como possibilidades no intuito de se alcançar uma dispersão satisfatória ou próxima disso, existem dois métodos: a introdução de algum dispersante nanometálico ou a incorporação de produtos químicos como anfífilicos ou alcoxissilanos. No caso do primeiro método, diferentemente do segundo, não ocorre mudança na superfície da nanopartícula. Ademais, quanto ao segundo, este pode ocorrer coma introdução de um surfactante (indicado para nanopartículas menores) ou de um alcoxissilano (ideal para nanopartículas maiores) (CHEN; RENNER; LIANG, 2019, p.2).

Os surfactantes são agentes de capeamento (formadores de camadas) nas nanopartículas, e têm como função converter componentes inorgânicos em orgânicos. Com essa transição, tanto o agente quanto o lubrificante adquirem propriedades orgânicas (THIRUMALAIKUMARAN, 2017, p. 3219).

### **2.3 Melhorias advindas do processo de adição das nanopartículas**

A formulação de novos aditivos com nanopartículas tem se mostrado promissora no prolongamento da vida útil de componentes mecânicos (ALI *et al.*, 2017, p.4). Correlacionado a isso, o segmento industrial se beneficia em termos de custos com a manutenção e com a durabilidade das máquinas.

Um aspecto positivo desse processo refere-se a uma melhora considerável no coeficiente de fricção (COF). O coeficiente em questão significa a mensuração em termos de desgaste na superfície de contato. Com a presença das nanopartículas metálicas no lubrificante, forma-se uma película protetora, característica intrinsecamente atrelada à questão da redução do coeficiente de atrito (THIRUMALAIKUMARAN, 2017, p. 3227).

Outro ponto importante está relacionado com a melhora das superfícies de cisalhamento (esforço cortante durante o atrito). Como os nanometais possuem

raios menores, eles têm maior capacidade de preenchimento das superfícies em comparação ao óleo sem as nanopartículas (THIRUMALAIKUMARAN, 2017, p.3218).

Conforme mostra a Figura 1, percebe-se que na formação do filme lubrificante constituído por nanopartículas menores há maior precisão de preenchimento na lubrificação:

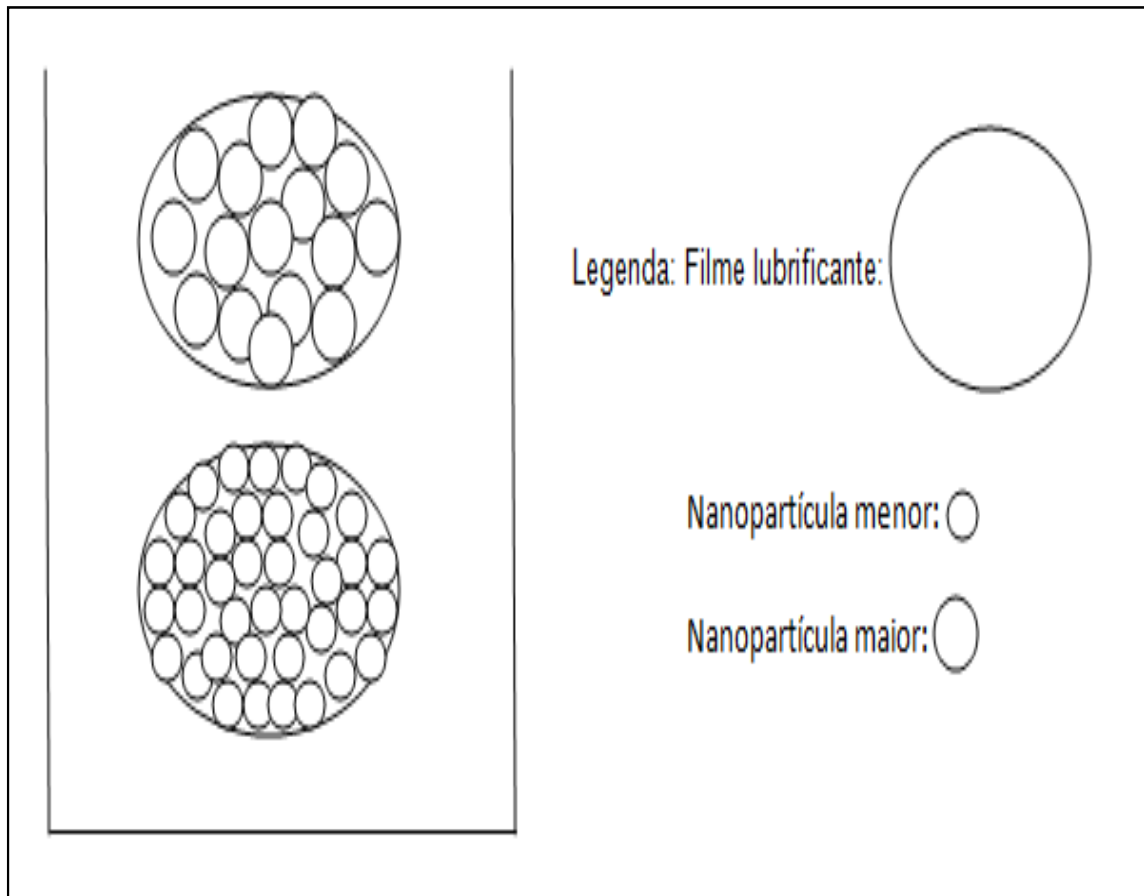


Figura 1 – Comparação da camada de lubrificação formada com nanopartículas menores em relação às nanopartículas maiores.  
Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

A presença dos nanometais contribui, ainda, com um fator que é de extrema importância quando se fala em lubrificação, a saber: a capacidade de conversão do atrito de deslizamento em atrito de rolamento na superfície de contato (LAAD; JATTI, 2018, p. 121).

Em suma, foram observados os seguintes benefícios com a introdução de nanoativos: considerável possibilidade de formação de filme contribuinte a suportar

altas temperaturas, boa durabilidade, baixa reatividade com outros aditivos e a possibilidade de indissolubilidade em óleos básicos apolares (SRIVYAS; CHAROO, 2018, p.595).

### **3. METODOLOGIA**

O presente trabalho define-se como aplicado, uma vez que utiliza-se do conhecimento científico referente às propriedades das nanopartículas a fim de obter consideráveis índices relativos ao lubrificante industrial AW ISO VG 68, relacionados ao fator antidesgaste e à vida útil dos componentes mecânicos. Quanto ao instrumental metodológico, tem-se como base constituinte os seguintes meios para a obtenção dos dados: consulta à bibliografia de caráter técnico, fornecida por fabricante do óleo em questão, através de sítio eletrônico, e revisões de artigos, contidos, em sua maioria, no Google Acadêmico e na SciELO. No que tange ao tempo de realização do trabalho, entre a definição do conteúdo abordado, seleção e especificação dos dados pertinentes ao seu desenvolvimento e a conclusão da pesquisa, foram necessários 12(doze) meses.

A pesquisa aplicada tem como finalidade: a obtenção e confirmação de resultados, geração de impacto por meio da coleta, seleção e processamento de fatos e dados através de conhecimentos previamente adquiridos (FLEURY; WERLANG, 2016-2017, p. 11-12).

No que se refere à abordagem e ao nível da pesquisa, esta constitui-se em uma pesquisa de cunho quali-quantitativo a nível descritível, por se tratar de um trabalho composto de descrições, análises, interpretações e geração de dados quantificáveis, presentes nas revisões de literatura, essenciais à finalidade da pesquisa.

Dessa forma, a respeito de tal abrangência, pode-se afirmar que os fenômenos reais são tratados com abordagens quantitativas e qualitativas, que dão sentido concreto aos seus dados (SOUZA; KERBAUY, 2017, p. 35).

Por fim, a revisão de literatura é sustentada e concretizada por meio de paráfrases. Mais especificamente, trata-se da alteração de 75% do trecho na transcrição dos autores citados (GONÇALVES, 2019, p. 10).



#### 4. ANÁLISE DE DADOS

Segundo Uflyand (2019, p. 94), no âmbito dos óleos lubrificantes que demandam bons índices de fator antidesgaste (AW) e que atuam sob condições de extrema pressão (EP), a nanopartícula de Cobre (Cu) se apresenta como um excelente nanometal de inserção.

De acordo com o autor, com a adição dos nanometais de Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Cobalto (Co) de forma individual ao lubrificante, houve as seguintes reduções de atrito, com destaque para o Cobre (Cu), como mostra a **Tabela 2**.

**Tabela 2** – Redução de atrito (análise da inserção individual).

Nanopartícula adicionada	Percentual de redução no atrito
Cobre (Cu)	49%
Ferro (Fe)	39%
Cobalto (Co)	20%

**Fonte:** Tsinghua University Press, 2019.

Um ponto fundamental ressaltado pelo autor é que quando se adiciona o Cobre (Cu) em conjunto com outros nanometais, formando-se pares, como Ferro (Fe) e Cobalto (Co), percebe-se uma eficácia ainda maior no quesito atrito, como mostra a **Tabela 3**.

**Tabela 3** – Redução de atrito (análise da inserção em pares).

Adição das nanopartículas em pares	Percentual de redução no atrito
Ferro (Fe) + Cobre (Cu) e Cobalto (Co) + Cobre (Cu)	53%
Ferro (Fe) + Cobalto (Co)	36%

**Fonte:** Tsinghua University Press, 2019.

Em análises realizadas com outros nanometais envolvendo Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) e Dióxido de Titânio ( $TiO_2$ ), estes apresentaram, também, excelentes índices de redução de atrito. Para o  $Al_2O_3$ , constatou-se uma redução de 35%. Já com relação ao  $TiO_2$ , houve uma redução de 51% (ALI *et al.*, 2017, p. 2).

Uma constatação importante é que as nanopartículas de Cobre (Cu) e de Óxido de Cobre (CuO) se situam em boas faixas nanométricas, ponto fundamental relacionado ao fato de poderem oferecer maior eficiência de preenchimento

(lubrificação). Além disso, essas nanopartículas se caracterizam por possuírem morfologias, quase esférica e totalmente esférica, respectivamente.

Nessa perspectiva, nota-se maior capacidade de abrangência e atuação dessas nanopartículas quando se analisa o raio ( $r$ ) e a altura de preenchimento ( $h$ ). Quanto menor o raio ( $r$ ) da nanopartícula em relação à altura de preenchimento ( $h$ ), maior a capacidade de lubrificação, como demonstra a Figura 2, abaixo.

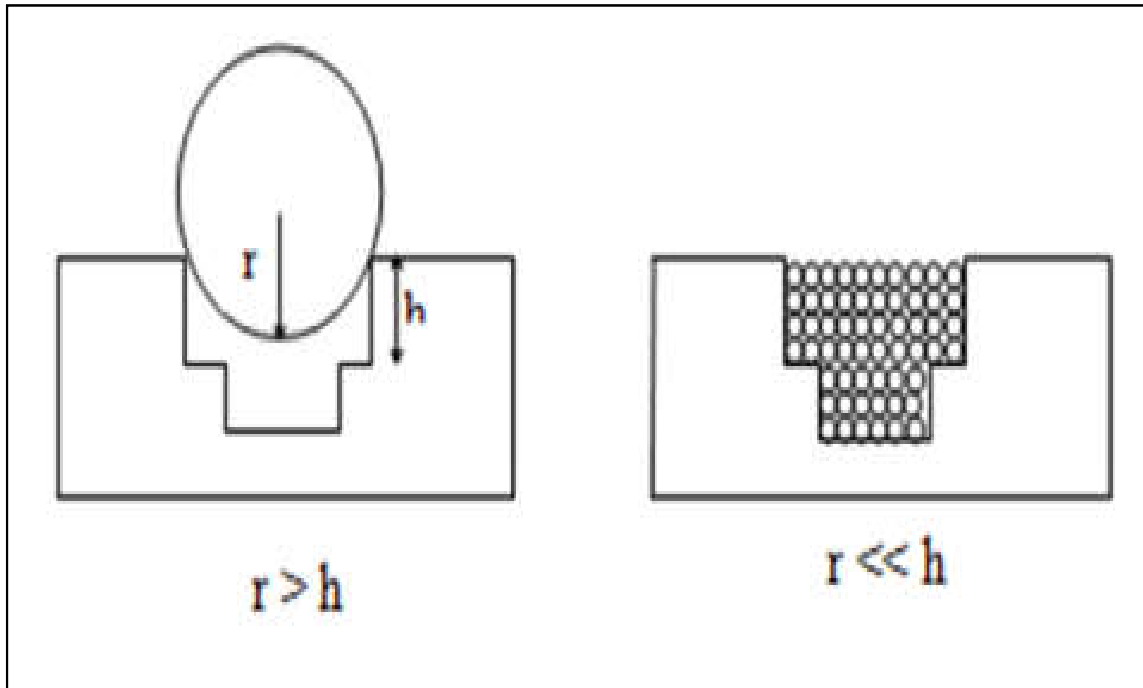


Figura 2 – Influência do tamanho da nanopartícula na abrangência de lubrificação  
Fonte: Jornal Internacional de Pesquisa de Engenharia e Tecnologia – IRJET, 2017.

Com relação ao processo de dispersão após a inserção das nanopartículas, observa-se que, entre os métodos aplicados, o que se refere à modificação de superfície merece maior atenção, especificamente os surfactantes, uma vez que se aplicam a nanopartículas menores.

Em se tratando de nanopartículas de tamanho menor que 50 nm, a funcionalização com surfactante é apontada como a melhor. Já com relação às nanopartículas de tamanho maior que 50 nm, tem-se que os alcoxissilanos são os melhores (CHEN; RENNER; LIANG, 2019, p. 1).

Ainda com relação aos surfactantes, os mesmos autores ressaltam que quando se introduz o método que consiste em modificá-los, percebem-se melhores dispersões em relação aos surfactantes normais. Esse método baseia-se na

inserção apenas de moléculas do surfactante na superfície da nanopartícula, ao invés da inserção normal.

Uma observação pertinente é que com baixas concentrações de nanopartículas há melhores resultados. Tal fato ocorre devido à possibilidade de haver menor interação superficial entre os nanometais durante o processo de lubrificação.

Com base nisso, Uflyand (2019, p. 105) afirma que quanto maior for a concentração de nanopartículas, maior será o contato entre elas. Em decorrência disso, ocorre a queda no Coeficiente de Fricção (COF).

Nanopartículas com boas particularidades referentes à questão do antidesgaste e extrema pressão, como o Cobre (Gráfico 1), Óxido de Cobre (Gráfico 2) e Dióxido de Titânio (Gráfico 3), apresentam boa eficácia a baixas concentrações.

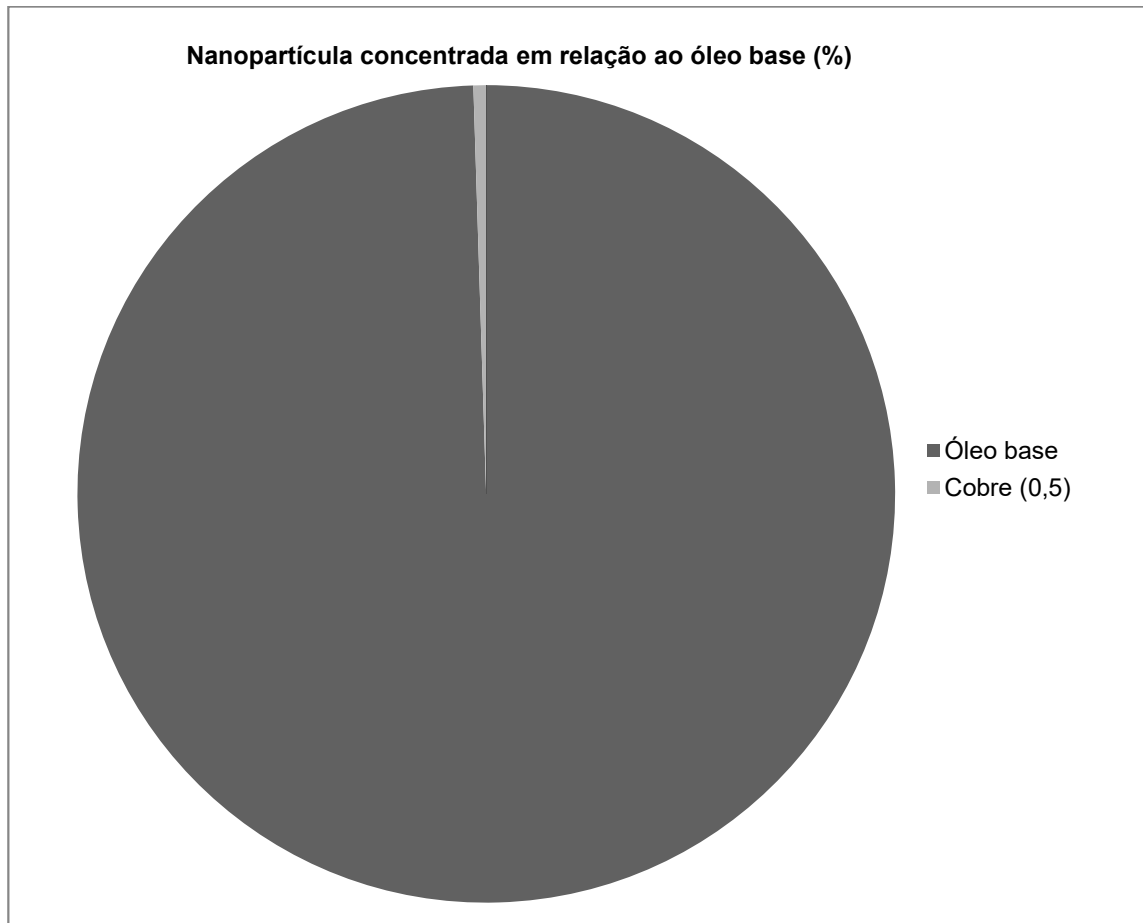


Gráfico 1 – Percentual de nanopartícula de Cobre (Cu) presente no óleo base  
Fonte: Journal of Nanoparticle Research, 2016.

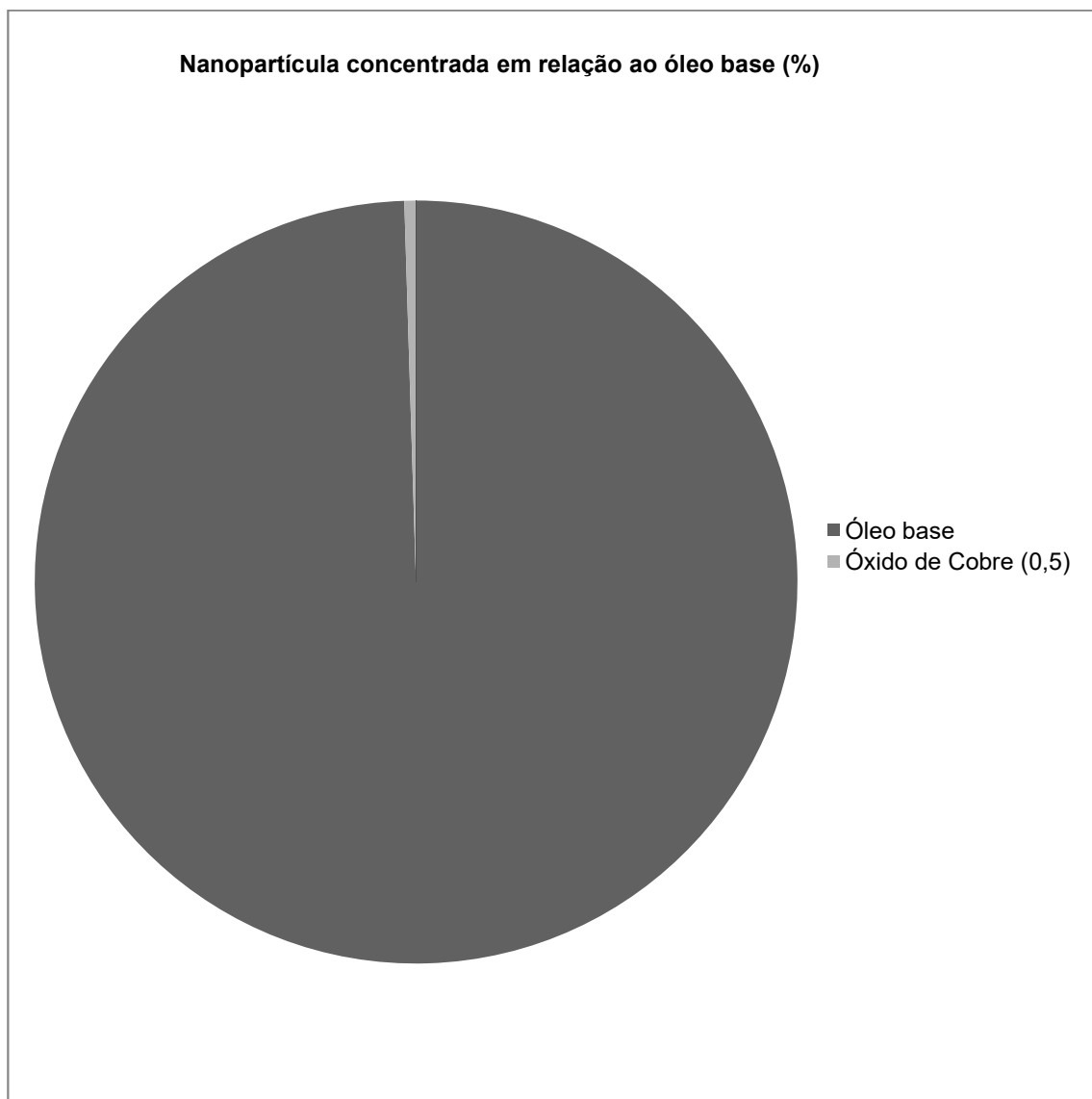


Gráfico 2 – Percentual de nanopartícula de Óxido de Cobre (CuO) presente no óleo base  
Fonte: Journal of Nanoparticle Research, 2016.

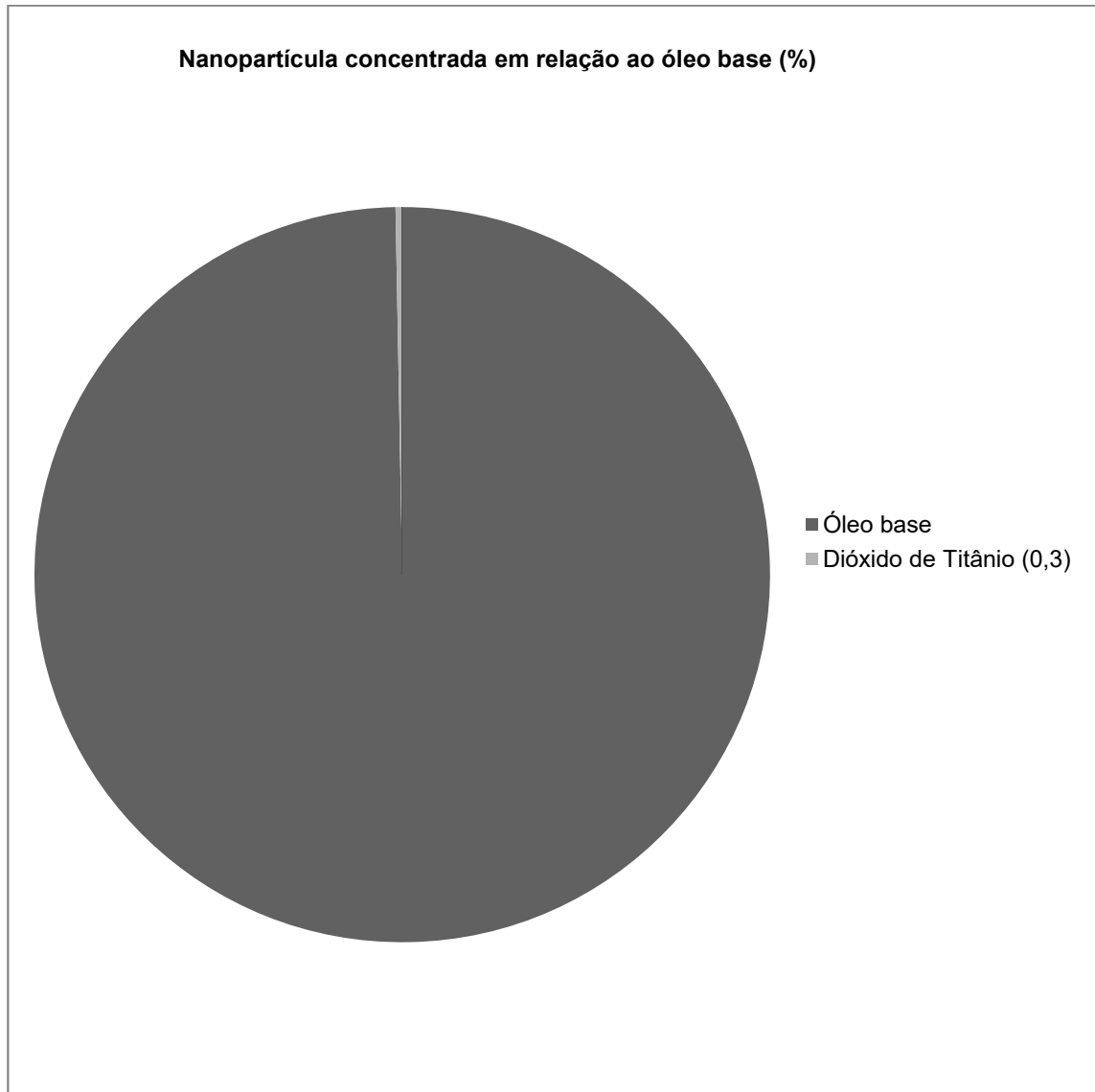


Gráfico 3 – Percentual de nanopartícula de Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ) presente no óleo base  
Fonte: Journal of Nanoparticle Research, 2016.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conforme análise das informações e resultados presentes neste trabalho, foram constatadas evidências significativas de possíveis melhorias provenientes da adição de determinadas nanopartículas metálicas ao óleo industrial AW ISO VG 68. Especificamente, dentre os resultados positivos, destacaram-se os referentes ao fator antidesgaste e à resistência a pressões extremas de trabalho, associados, conseqüentemente, a uma maior vida útil nos componentes mecânicos que têm o óleo como base de lubrificação.

Diante dos estudos, foram catalogadas grandes reduções no atrito, em algumas situações chegando até 53%, como é o caso da adição em pares de Ferro (Fe) + Cobre (Cu) e Cobalto (Co) + Cobre (Cu), ou mesmo alguns adicionados individualmente, como o TiO<sub>2</sub> (Dióxido de Titânio) e o Cu (Cobre).

Com base nisso, a realização de pesquisas futuras referentes à inserção de determinados nanometais ao óleo base mostra-se de grande importância, uma vez que há certa carência de estudos científicos embasados nessa perspectiva.

## REFERÊNCIAS

ALI, Mohamed Kamal Ahmed *et al.* **Mini Review on the Significance Nano-Lubricants in Boundary Lubrication Regime.** International Journal of Biosensors & Bioelectronics. Wuhan University of Technology, Wuhan, China, v. 2, p. 1-5, 2017. DOI: 10.15406 / ijbsbe.2017.02.00014. Disponível em <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1705/1705.08401.pdf>> Acesso em 22 fev. 2021.

BANDGAR, M. S *et al.* **Effect of Nano Lubricant on the Performance of Vapour Compression Refrigeration System: A Review.** JETIR. Department of Mechanical Engineering / JSPM's Imperial College of Engineering & Research, Wagholi, Índia, v. 3, n. 4, p. 56-59, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Satishchandra\\_Ragit/publication/301618287\\_Effect\\_of\\_Nano\\_Lubricant\\_on\\_the\\_Performance\\_of\\_Vapour\\_Compression\\_Refrigeration\\_System\\_A\\_Review/links/571d915508ae408367be5b11.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Satishchandra_Ragit/publication/301618287_Effect_of_Nano_Lubricant_on_the_Performance_of_Vapour_Compression_Refrigeration_System_A_Review/links/571d915508ae408367be5b11.pdf)> Acesso em 7 set. 2020.

BAO, Y Y.; SUN, J L.; KONG, L H. **Tribological properties and lubricating mechanism of SiO<sub>2</sub> nanoparticles in water-based fluid.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 17<sup>a</sup> Conferência Internacional IUMRS, Ásia. v. 182, p. 1-9, 2017. DOI: 10.1088/1757-899x/182/1/012025. Disponível em <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/182/1/012025/pdf>> Acesso em 10 ago. 2020.

CHEN, Yan; RENNERT, Peter; LIANG, Hong. **Dispersion of Nanoparticles in Lubricating Oil: A Critical Review.** Lubricants. USA, v. 7, n. 1, p. 1-21, 2019. DOI: 10.3390 / lubrificantes7010007. Disponível em: <[file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/lubricants-07-00007%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/lubricants-07-00007%20(1).pdf)> Acesso em 22 fev. 2021.

FLEURY, Maria Tereza Leme; WERLANG, Sergio R. C. **Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens.** GV Pesquisa. São Paulo, 2016-2017. Anuário de pesquisa. São Paulo. FGV-EAESP/ FGV-EPGE 2017. p. 10-15. <<file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/72796-150874-1-PB.pdf>> Acesso em 14 set. 2020.

Girux Lubrificantes e Graxas. **Ficha Técnica - Girux hidráulico aw**. Campo Grande, MS, 2016. Disponível em <[http://www.fabricaquimica.com.br/files/produto/hidraulico-aw\\_31598415.pdf](http://www.fabricaquimica.com.br/files/produto/hidraulico-aw_31598415.pdf)> Acesso em 10 ago. 2020.

GONÇALVES, Jonas Rodrigo. **Como fazer um Projeto de Pesquisa de um Artigo de Revisão de Literatura**. Revista JRG de Estudos Acadêmicos, Ano II, Vol.II, n. 5, p. 1-28, 2019. Disponível em: <<http://www.revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/62/56>> Acesso 14 set. 2020.

GULZAR, Mubashir *et al.* **Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives**. Journal of Nanoparticle Research. University of Malaya, Kuala Lumpur, Malásia/Universidade Nacional de Ciências e Tecnologia (NUST), Islamabad, Paquistão, v. 18, n. 8, p. 175-223, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3537-4>. Disponível em <[file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/mubashirPost-printversion5%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/mubashirPost-printversion5%20(3).pdf) > Acesso em 6 ago. 2020.

JEEVANANDAM, Jaison *et al.* **Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations**. Beilstein Journal of Nanotechnology. Department of Chemical Engineering, Curtin University, Sarawak, Malaysia, n.9, p. 1050-1074, abril. 2018. DOI: 10.3762/bjnano.9.98. Disponível em: <<https://www.beilsteinjournals.org/bjnano/content/pdf/2190-4286-9-98.pdf> > Acesso em 6 ago. 2020.

LAAD, Meena; JATTI, Vijay Kumar. S. **Titanium oxide nanoparticles as additives in engine oil**. Journal of King Saud University – Engineering Sciences. Symbiosis Institute of Technology (SIT), Symbiosis International University (SIU), Lavale, Pune, Maharashtra, India, v. 30, n. 2, p. 116-122, 2018. DOI: 10.1016/j.jksues.2016.01.008. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S101836391600012X?token=3888F5772F41AD6250CA1AC153EE115DEFF02211824B782196DB2858FAA982450F9A7F6D6FF5BF2EB666DAEB540641D3> > Acesso em 7 set. 2020.

MOHAJERANI, Abbas *et al.* **Nanoparticles in Construction Materials and Other Applications, and Implications of Nanoparticle Use**. Materials. School of Engineering, RMIT University, Austrália, v. 12, n. 19, p. 1-25, 2019. DOI: 10.3390/ma12193052. Disponível em <[file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/Nanoparticles\\_in\\_Construction\\_Materials\\_and\\_Other\\_.pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/Nanoparticles_in_Construction_Materials_and_Other_.pdf)> Acesso em 17 ago. 2020.

SOUZA, Kellcia Rezende; KERBAUY, Maria Teresa Miceli. **Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação**. Educação e Filosofia. Uberlândia, v. 31, n. 61, p. 21-44, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/REVEDFIL>. Disponível em: <<http://200.19.146.79/index.php/EducacaoFilosofia/article/view/29099>> Acesso em 14 set. 2020.

SRIVYAS, Pranav Dev; CHAROO, M S. **A Review on Tribological Characterization of Lubricants with Nano Additives for Automotive**

**Applications.** Tribology in Industry, Índia, v. 40, n. 4, p. 594-623, 2018. Disponível em: <<http://www.tribology.rs/journals/2018/2018-4/8.pdf> > Acesso em 17 ago. 2020.

THIRUMALAIKUMARAN, A. **The tribological behaviour of nanoparticles mixed lubricating oil – review.** International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Department of Mechanical Engineering, EBET Group of Institutions, Kangayam, Tamilnadu, Índia, v. 4, n. 4, p. 3217-3228, 2017. Disponível em: <[file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/IRJET-V4I4770%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/IRJET-V4I4770%20(1).pdf) > Acesso em 17 ago. 2020.

UFLYAND, Igor E.; ZHINZHILLO, Vladimir A.; BURLAKOVA, Victoria E. **Metal-containing nanomaterials as lubricant additives: State-of-the-art and future development.** Friction. Federação Russa, v. 7, n.2, p. 93-116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0261-y>. Disponível em: <[file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/Uflyand2019\\_Article\\_Metal-containingNanomaterialsA%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/Uflyand2019_Article_Metal-containingNanomaterialsA%20(3).pdf)>. Acesso em 26 fev. 2021.

ZAMMAR, Gilberto *et al.* **Práticas preditivas para análise do comportamento de equipamentos industriais e a transferência de tecnologia: o caso de um motor elétrico.** Revista Espacios. Panamá Pacífico, v. 38, n.29, p. 32, 2017. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n29/a17v38n29p32.pdf> > Acesso em 28 jul. 2020.