

EFEITO DA ADIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS NA FABRICAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE DE MOTORES AUTOMOTIVOS

AUTORES

Gabrielli Hummel BENETASSO

Discente do Curso de Engenharia de Química- UNILAGO

Grazieli Olinda MARTINS

Maria Angélica Marques PEDRO

Docente do Curso de Engenharia de Química- UNILAGO

RESUMO

Este artigo teve como objetivo explorar o impacto da adição de nanopartículas à formulação de óleos lubrificantes para motores de automóveis, visando aprimorar as propriedades dos lubrificantes e a eficiência dos motores. O estudo se concentra no uso de nanopartículas de grafite, grafeno e óxido de ferro como nanoaditivos e seus efeitos na redução do atrito, eficiência do motor e da durabilidade reduzida. A revisão da literatura existente nesta área sugere que a adição de produtos químicos e outras substâncias à base de nanotecnologias permite melhorias significativamente maiores na eficiência da energia e durabilidade dos motores, diminuindo o consumo de combustível e, pode ser restringido em um curto período. No entanto, vários desafios, incluindo custos elevados, concordam com a melhoria da dispersão e estabilidade, entre outros desafios.

PALAVRAS - CHAVE

Nanopartícula; Óleo lubrificante; Nanolubrificante.

1 INTRODUÇÃO

Tribologia é uma palavra derivada do grego que significa o estudo do atrito, desgaste e lubrificação de superfícies em movimento relativo em sistemas naturais e artificiais. É uma área multidisciplinar que envolve ciência dos materiais, mecânica, química e física. Seu estudo é de extrema importância para a prevenção de elementos de máquinas que trabalham sob atrito e deslizamento como os motores de combustão interna (MELO, 2021).

Os primeiros motores de combustão interna comerciais foram desenvolvidos no início do século XIX. Contudo, foi apenas a partir de 1876, com a construção dos motores baseados no ciclo Otto por Nikolaus August Otto, que os motores de combustão interna ganharam destaque, impulsionando uma nova era de avanços tecnológicos e industriais que culminaram no surgimento da indústria automobilística (OLIVEIRA, 2022).

A lubrificação por meio dos óleos lubrificantes veio como uma solução para a diminuição do desgaste das peças automotivas, com o intuito de aumentar a vida útil dos motores automotivos. A função primordial dos óleos lubrificantes é formar uma camada fina de óleo entre duas superfícies metálicas em movimento, evitando o contato direto entre elas, dessa forma contribuindo para uma maior durabilidade dos componentes envolvidos (OLIVEIRA, *et al.* 2016).

Os óleos lubrificantes são basicamente a mistura de óleos base e aditivos. Os óleos base podem ser de origem mineral, derivado do petróleo, composto por hidrocarbonetos complexos; de origem sintética, através de reações químicas, ou de origem semissintética, sendo a mistura do óleo mineral com o sintético. Os aditivos são adicionados de acordo com a necessidade do uso, sendo os mais utilizados os detergentes, antiespumantes, anticorrosivos e emulsificantes (MELO, 2021).

O estudo da incorporação das nanopartículas como um aditivo na composição de óleos, vem atuando com o objetivo de alcançar uma melhora na lubrificação sob certas condições de temperatura e pressão. Em virtude ao seu tamanho reduzido (escala manométrica) e sua capacidade de resistir a uma extrema pressão, as nanopartículas conseguem permear nas superfícies de deslizamento, evitando contato direto (BORDIGNON, 2018).

O objetivo deste estudo, por meio de uma revisão de literatura, foi demonstrar o efeito da adição de nanopartículas de grafite, grafeno e óxido de ferro como nanoaditivos de óleos lubrificantes de motores automotivos, com a finalidade de demonstrar qual nanopartícula terá melhor desempenho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Óleo lubrificante

Na antiguidade, a lubrificação era realizada com substâncias naturais, predominantemente de origem animal e vegetal, como o óleo de baleia, muito aplicado pelos navegadores na época das grandes navegações, a fim de melhorar o desempenho das embarcações nos mares. Porém, foi na Revolução Industrial, com o surgimento das indústrias, que os óleos ganharam mais destaque, otimizando e aumentando o potencial maquinário (SILVA, 2011).

Posteriormente, com a chegada das indústrias automobilísticas e sua popularidade, o primeiro óleo lubrificante para automóveis de acordo com Silva (2011), foi o petróleo cru, ainda assim com a alta quantidade de impurezas contidas, o que causou sérios problemas aos motores, comprometendo sua

funcionalidade. Desde então, com a modernização tecnológica e a busca por novos poços de petróleo, hoje as bases dos óleos lubrificantes são de um subproduto da destilação do petróleo, podendo ser classificadas como mineral, sintética ou semissintética (SILVA, 2011).

Os óleos básicos constituem a maior parte dos fluidos, geralmente compondo mais de 90 % de sua formulação. A escolha do óleo básico é essencial, pois determina as propriedades finais do lubrificante (PETROBRAS, 2021). Portanto, a seleção do óleo ideal para cada automóvel deve levar em conta diversos fatores, como o tipo de veículo, as condições de uso e a frequência de operação. A fabricante brasileira *Lubrax*, sugere que os motoristas consultem o manual do automóvel para verificar especificações sobre a viscosidade e o desempenho recomendados para o óleo (LUBRAX, 2024).

O refino do petróleo para a obtenção de óleo básico mineral é realizado por meio da destilação fracionada. Neste processo, os hidrocarbonetos de cadeias mais simples são separados inicialmente em temperaturas de até 40 °C, resultando na extração de produtos como o gás liquefeito de petróleo (GLP). À medida que a temperatura aumenta, até atingir cerca de 600 °C, são obtidos compostos de maior complexidade, conforme lista a Tabela 1. No caso específico dos lubrificantes, a extração dos óleos ocorre em uma faixa de temperatura entre 400 – 510 °C, sendo que esses óleos possuem cadeias carbônicas com 26 a 38 átomos de carbono (SILVA, 2011).

Tabela 1 – Compostos obtidos a partir da destilação do petróleo.

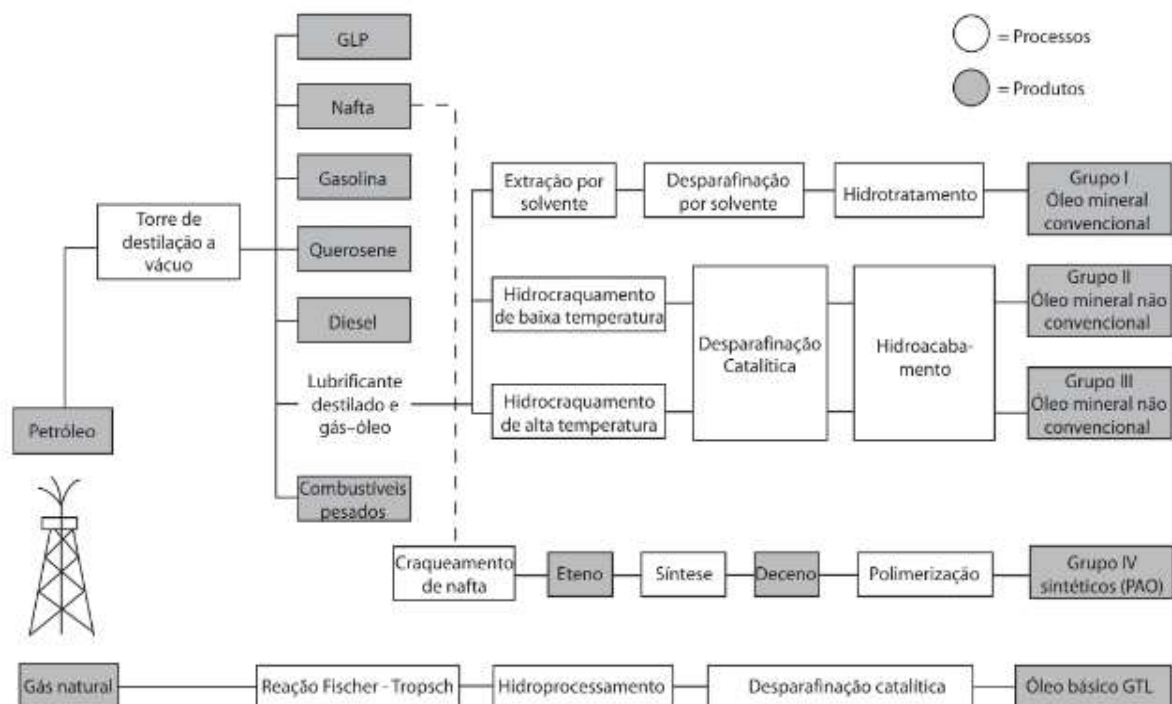
Fração	Temperatura de ebulição (°C)	Composição aproximada	Uso
Gás liquefeito de petróleo – GLP	Até 40	C ₁ – C ₂ C ₃ – C ₄	Gás doméstico e industrial
Gasolina	40-175	C ₅ – C ₁₀	Combustível de automóvel e solvente
Querosene	175-235	C ₁₁ – C ₁₂	Iluminação e combustível de avião
Gasóleo Leve	235-305	C ₁₃ – C ₁₇	Diesel e fornos
Gasóleo Pesado	305-400	C ₁₈ – C ₂₅	Insumo para lubrificantes
Lubrificantes	400-510	C ₂₆ – C ₃₈	Óleos lubrificantes
Resíduo	Acima de 510	C ₃₈ ou mais	Asfalto, piche, impermeabilizantes

Fonte: Silva, 2021.

Após o refino, as bases são categorizadas de acordo com o tipo de hidrocarbonetos presentes em sua cadeia, os quais são separados em naftênicos ou parafínicos. Os óleos naftênicos detêm átomos de carbono cíclicos e sem ligações insaturadas (OLIVEIRA, 2022). Consequentemente possuem baixos pontos de fluidez e uma capacidade superior de solvência. E, portanto, são os mais indicados para aplicações a baixas temperaturas, por exemplo, em fluidos hidráulicos, óleos de refrigeração, óleos para processamento de borrachas, entre outros (PETROBRAS, 2021). Por outro lado, os óleos parafínicos, apresentam menor variação de viscosidade e menor volatilidade, em razão da estrutura linear (OLIVEIRA, 2022), tornando-os mais adequados para aplicações em óleos de motor, transmissão e engrenagens de automóveis, onde a temperatura varia conforme o tempo; sendo responsáveis por mais de 90 % da produção mundial de óleos básicos lubrificantes, de acordo com informações técnicas da Petrobras (PETROBRAS, 2021).

Os básicos sintéticos, apesar da opinião popular, também são originados do petróleo. O que os tornam diferentes, é o processo de fabricação, conforme mostra a Figura 1. Por serem obtidos a partir de processos petroquímicos, permite-se o maior controle da sua estrutura molecular, e a total isenção de contaminantes, como moléculas sulfuradas e nitrogenadas. Dessa forma, essas bases são misturas mais homogêneas e resistentes a oxidações, sendo possível obter um produto aliado de baixa volatilidade e com baixo ponto de fluidez, superiores às bases sintéticas. Porém o maior desafio em relação a sua produção é o alto custo e o crescente consumo destes produtos, em especial, na utilização de bases sintéticas como aditivos para lubrificantes minerais (BRUNETTI, 2018).

Figura 1 – Processo de obtenção das diferentes bases dos óleos lubrificantes.

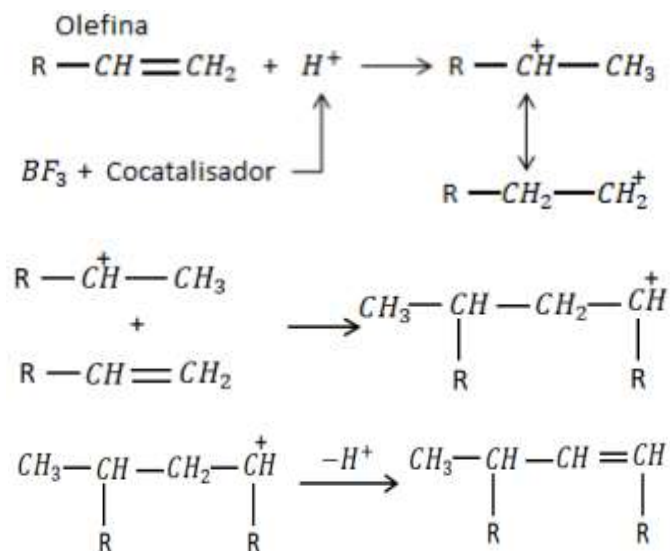


Fonte: Brunetti, 2018. .

As polialfaolefinas (PAOs) (Figura 2) constituem uma das principais bases sintéticas empregadas na formulação de lubrificantes para a indústria automobilística e são obtidas pelo processo de oligomerização do etileno (C_2H_4). Esse processo é realizado em uma planta química e consiste em catalisar moléculas menores de etileno, formando compostos maiores chamados de oligômeros, tendo assim um maior controle de seu tamanho (BRUNETTI, 2018).

Com o objetivo de evitar a utilização de óleos inadequados e garantir o desempenho dos motores, a Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE), instituiu em 1911, a primeira classificação de viscosidade para lubrificantes automotivos. O número representa a viscosidade e a letra representa seu comportamento em relação a temperatura (OLIVEIRA, 2022).

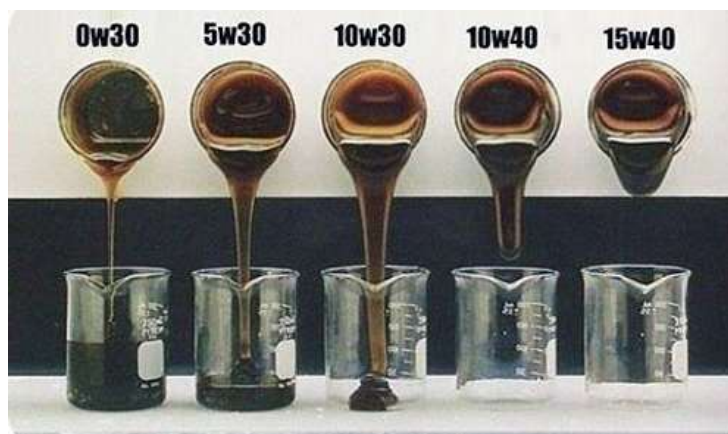
Figura 2 – Reação de oligomerização das polialfaolefinas (PAOs).



Fonte: Almeida, Pinho (2017).

Um exemplo é o óleo 15W40 (Figura 3), onde o número 15, acompanhado da letra W, do termo inglês *Winter*, que significa inverno e refere-se ao índice de fluidez do óleo em baixas temperaturas: quanto menor o número, mais fluido é o óleo. Já o segundo número 40, designa o fator de proteção do óleo em altas temperaturas e quanto maior o número, maior é a proteção (MELO, 2021).

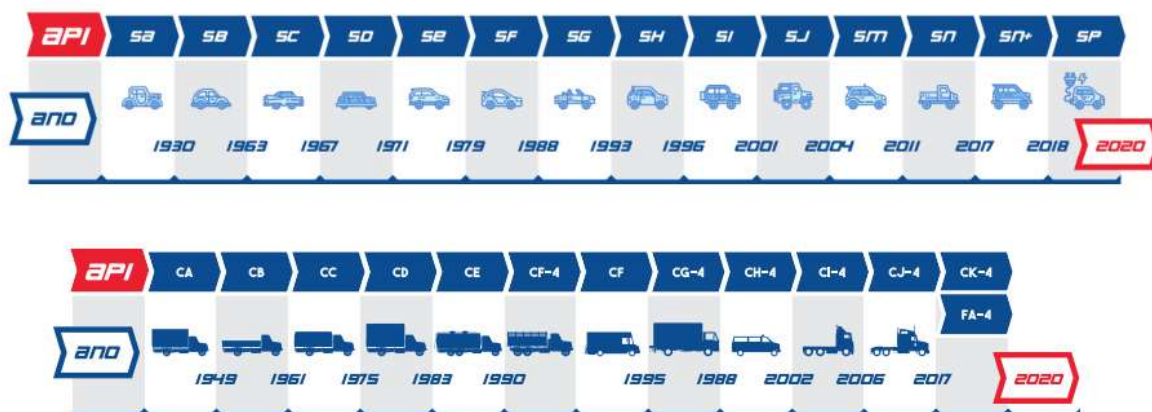
Figura 3 – Exemplos de óleos lubrificantes e suas viscosidades.



Fonte: Melo, 2021.

Em relação ao parâmetro densidade, utiliza-se o grau API (*American Petroleum Institute*). Esse parâmetro é útil, especialmente, para avaliar o desempenho dos óleos lubrificantes automotivos, em que diversos fatores podem ser considerados, desde as demandas de consumo até os aditivos inclusos. Essa nomenclatura possui duas letras com significados específicos: a primeira letra indica o tipo de motor, sendo "C" utilizado para motores a diesel e "S" para motores que utilizam gasolina, etanol ou GNV; a segunda letra, que segue a ordem alfabética, refere-se ao nível de desempenho do lubrificante, em que "A" representa o nível mais básico. No mercado atual, a maioria dos lubrificantes classificados na categoria "S" são rotulados como "SL" ou possuem classificações ainda mais avançadas, o que reflete a evolução na qualidade desses produtos ao longo do tempo conforme mostra a Figura 4 (ELLWANGER, 2021).

Figura 4 – Desempenho dos óleos lubrificantes pelo grau API.



Fonte: Silva, M. E., 2024.

2.2 Aditivos

Embora uma grande parte dos óleos lubrificantes comerciais seja composta por óleos base, estes isoladamente não possuem todas as propriedades necessárias para atender às exigências dos motores automotivos modernos. Certas funções como a inibição da corrosão, a limpeza do motor e a neutralização de ácidos são exemplos de características essenciais que só podem ser alcançadas com a adição de aditivos (ALMEIDA, 2012).

Desde 1940 esses aditivos químicos, ou simplesmente aditivos, são produtos orgânicos, minerais ou organometálicos adicionadas em pequenas quantidades, normalmente entre 1 % e 5 %, com o objetivo de aprimorar a qualidade do produto, introduzindo ou intensificando funções e garantindo maior durabilidade e alta performance (OLIVEIRA; SILVA, 2011). Cada aditivo é utilizado para melhorar uma funcionalidade específica do óleo lubrificante, mesmo que existam alguns com caráter multifuncional, capazes de combinar diferentes efeitos em uma única molécula (TRINDADE, 2014).

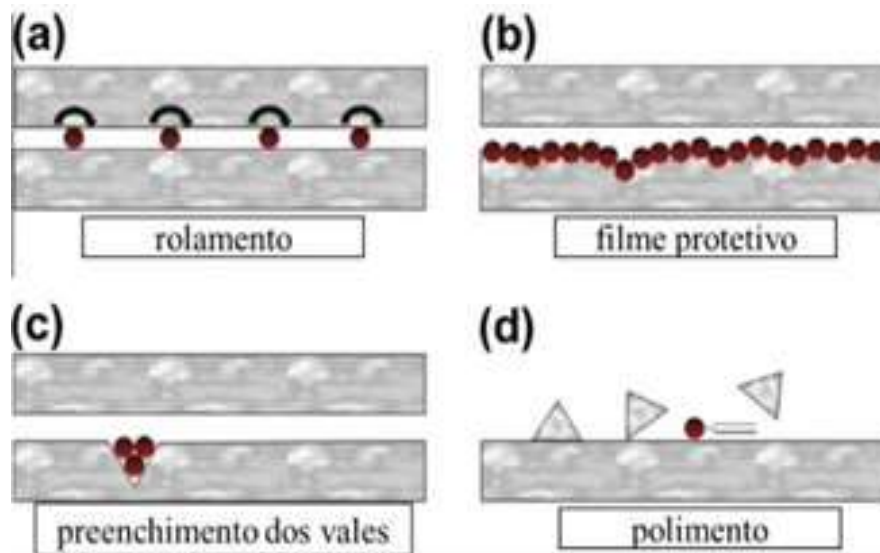
Os principais aditivos são: os antioxidantes, que neutralizam a ação de ácidos e do oxigênio através de uma camada protetora; os detergentes, que evitam o acúmulo de impurezas; os dispersantes, que distribuem a fuligem acumulada e outras partículas; os antiespumantes, que previnem a formação de bolhas de ar; e os anticorrosivos, que protegem as superfícies metálicas contra a ação de agentes corrosivos. Além destes, diversos outros aditivos podem ser incorporados para atender as necessidades desejadas (OLIVEIRA, 2022).

Além de aprimorar e potencializar essas funcionalidades, os aditivos devem atuar em equilíbrio químico, evitando a competição pela adesão à superfície metálica, o que pode comprometer sua eficácia. Portanto, é essencial que sejam compatíveis entre si, apresentem boa solubilidade nos óleos base e tenham baixa toxicidade, assegurando assim, um desempenho eficiente no produto final (ALMEIDA, 2012).

2.3 Nanopartículas

De acordo com Oliveira (2015) a nanotecnologia é definida como a engenharia de sistemas em escala molecular, tendo como base a manipulação de materiais em níveis atômicos. Nesse âmbito, as nanopartículas se tornaram um grande foco desses estudos devido a alta capacidade de aplicação em diversas áreas, principalmente como nanoaditivos em óleos lubrificantes automotivos. O menor tamanho das nanopartículas, permite que a taxa de desgaste das peças automotivas diminua, além de possuir o efeito de polimento e recuperação dos motores automotivos. A Figura 4 mostra as principais funções das nanopartículas como aditivos para lubrificantes. Na Figura 4-a, rolamento, mostra a melhor espalhabilidade (ou molhabilidade) do óleo; a Figura 4-b mostra o filme protetivo que as nanopartículas formam em sequência; já a Figura 4-c, os nanoaditivos têm por função preencher partes afundadas, protegendo contra a corrosão e, por fim, na Figura 4-d, há a demonstração do polimento, o qual evita que as partículas fiquem depositadas na superfície das peças dentro do motor dos automóveis (MELO, 2021).

Figura 4 – Demonstração da ação das nanopartículas.

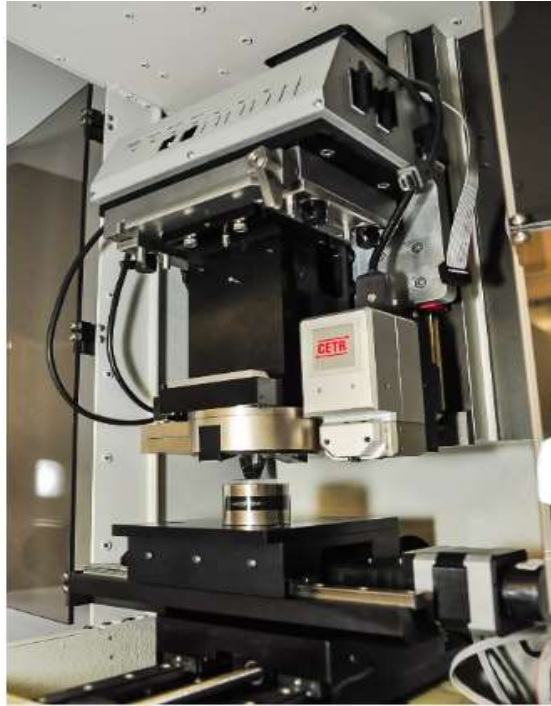


FONTE: Melo, 2021.

A classificação das nanopartículas pode ser com base na composição química, morfologia e tamanho, expressada na forma de pó, gel ou solução. O processo de produção industrial com maior destaque é nomeado de *bottom up*, método aplicado de agregação das partículas, o qual apresenta boa reprodutibilidade e pouca dispersão em relação ao seu tamanho (OLIVEIRA, 2022).

Com o desenvolvimento da tecnologia, a microscopia de força atômica (MFA), Figura 5, tem-se se mostrado importante instrumentação para avaliar o atrito causado em diversos tipos de materiais. Contudo, este equipamento não tem somente seu uso limitado a esta aplicação, sendo válido também para a nanotribologia, como a visibilidade tridimensional direta de faixas de desgaste da superfície, as características da morfologia da superfície, textura e rugosidade, entre outros (OLIVEIRA, 2015).

Figura 5 - Microscópio de Força Atômica (MFA).



FONTE: Porto, 2013.

2.4 Nanolubrificantes

Quando partículas em escala nanométrica são adicionadas a óleos lubrificantes usados nos veículos automotores tem-se o nanolubrificante. Um novo tipo de óleo com o intuito de aprimorar funções já existentes em lubrificantes convencionais, aumentando consideravelmente a capacidade de lubrificação, a maior eficiência do motor automotivo, redução no consumo de combustível e uma maior resistência a alta pressão e temperatura (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

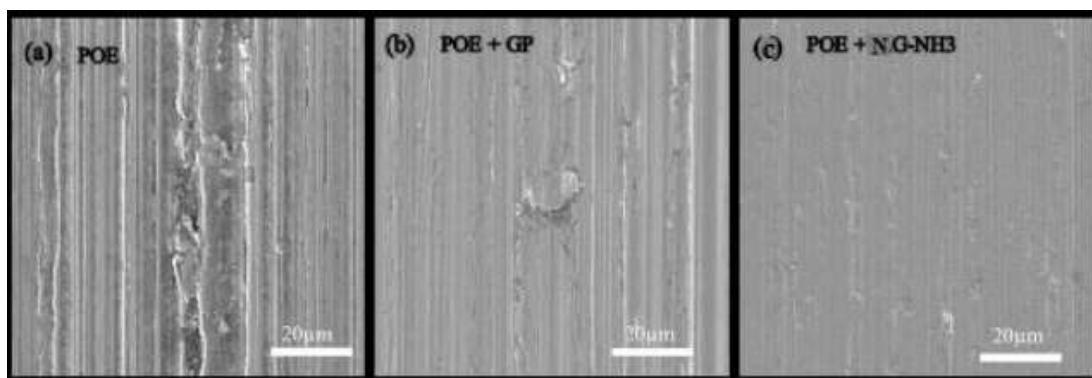
O grafite é um dos nanoaditivos a ser considerado para aplicação em nanolubrificantes, segundo Oliveira et al. (2016), por corresponder a uma das três formas alotrópicas do carbono e por sua estrutura lamelar composta por camadas unidas por fracas forças de *Van der Waals*, as quais proporcionam baixo coeficiente de atrito entre as superfícies em contato. Sua adição ao óleo base resulta em uma melhoria de 20 % na estabilidade térmica e um aumento de 15 % na viscosidade do óleo. Além disso, o grafite apresenta boas propriedades de lubrificação sólida, o que o torna ideal para condições de alta pressão e temperatura, como as encontradas em motores automotivos. O uso das nanopartículas de grafite também proporciona uma redução de 25% no consumo de energia durante os testes experimentais, demonstrando seu potencial para melhorar a eficiência dos motores e reduzir o consumo de combustível (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Melo (2021) realizou um estudo aprofundado sobre o uso de nanopartículas de grafeno em óleos lubrificantes automotivos. As nanopartículas de grafeno foram potencializadas com amônia (NH₃), o que melhorou significativamente sua dispersão e interação com o óleo base com uma diferença de 49 %. Devido a sua estrutura bidimensional e lamelar, o grafeno tem a capacidade de formar camadas deslizantes entre as superfícies em contato, reduzindo substancialmente o atrito. Os resultados mostraram uma redução do atrito em até 94% quando comparado aos lubrificantes tradicionais, além de uma redução considerável no desgaste dos componentes metálicos dos motores. Essa estrutura única do grafeno atua como um

lubrificante sólido, criando uma barreira que reduz o contato direto entre as superfícies, minimizando o desgaste.

Além disso, o grafeno apresenta excelente estabilidade térmica, o que o torna adequado para aplicações em condições de alta temperatura e carga. O estudo de Melo (2021) destacou que, além dos benefícios de desempenho, o uso do grafeno contribuiu para um aumento de até 20 % na eficiência do motor e uma redução de 10 % no consumo de combustível, tornando-o uma escolha promissora para a melhoria dos sistemas tribológicos em motores automotivos. A Figura 6, reproduzida do estudo, mostra a diferença significativa em relação a adição das nanopartículas, a Figura 6-a mostra o desgaste da superfície com o óleo puro; a Figura 6-b, em relação ao nanolubrificante com grafeno; e a Figura 6-c, o nanolubrificante potencializado com NH_3 (MELO, 2021).

Figura 6 – Relação da diferença entre o óleo lubrificante e o nanolubrificante.



Fonte: Melo, 2021.

Silva (2021) investigou o uso de nanopartículas de óxido de ferro (Fe_3O_4) em lubrificantes automotivos, demonstrando uma redução do coeficiente de atrito em até 40 % e um aumento da durabilidade dos componentes mecânicos em 20 %. Além disso, estas nanopartículas foram escolhidas devido a suas propriedades magnéticas que favorecem a estabilidade da dispersão no lubrificante. Essa estabilidade na dispersão é essencial para evitar a sedimentação das partículas, garantindo um desempenho consistente ao longo do uso (SILVA, 2021). Durante os ensaios realizados, as nanopartículas também demonstraram alta eficiência na absorção do calor gerado pelo atrito, contribuindo para o controle térmico dos componentes do motor, evitando o superaquecimento. Adicionalmente, os nanoaditivos de Fe_3O_4 mostraram-se eficazes na preservação das características reológicas do óleo lubrificante, assegurando uma viscosidade adequada em condições de operação extrema: o que é crucial para a manutenção da integridade dos componentes e a redução de falhas durante o funcionamento dos motores automotivos (SILVA, 2021).

Apesar dos benefícios claros dos nanolubrificantes, a sua produção ainda apresenta desafios significativos. Um dos principais está na dificuldade de obter uma dispersão homogênea das nanopartículas no óleo lubrificante. Oliveira (2015), observou que a má distribuição das nanopartículas pode levar à sedimentação, comprometendo a eficácia do lubrificante. Por isso, são necessárias técnicas avançadas, como dispersores de alta energia para garantir uma distribuição adequada (OLIVEIRA, 2015). Além disso, Melo (2021) destacou que o custo de produção dos nanolubrificantes é elevado devido à complexidade dos

processos de síntese e funcionalização das nanopartículas, o que ainda limita a viabilidade econômica em aplicações em larga escala (MELO, 2021).

3 CONCLUSÃO

A adição de nanopartículas na formulação de óleos lubrificantes para motores automotivos mostrou-se promissora para melhorar as propriedades de lubrificação e o desempenho dos motores. A revisão realizada neste artigo, indica que nanopartículas de grafite, grafeno e óxido de ferro têm o potencial de reduzir significativamente o atrito, melhorar a eficiência energética e aumentar a durabilidade dos componentes mecânicos, contribuindo para um desempenho mais sustentável e econômico dos veículos.

Os óleos lubrificantes tradicionais desempenham um papel importante na proteção dos motores, mas suas limitações podem ser superadas com a incorporação de nanopartículas, o que otimiza a formação de uma camada de proteção mais eficiente. De acordo com os resultados dos autores citados, cada tipo de nanopartícula oferece vantagens específicas: o grafite reduz o atrito devido à sua estrutura lamelar; o grafeno melhora a eficiência do motor e reduz o desgaste dos componentes, além de oferecer estabilidade térmica; e o óxido de ferro favorece a dissipação de calor e a estabilidade da dispersão, aumentando a durabilidade das peças.

Apesar dos benefícios, ainda há desafios a serem superados, como a obtenção de uma dispersão homogênea e os custos elevados de produção. Para viabilizar o uso dos nanolubrificantes em larga escala, são necessárias novas tecnologias que garantam a estabilidade das nanopartículas durante a vida útil do óleo e uma redução dos custos para a aplicação. Mesmo com esses obstáculos, o potencial dos nanolubrificantes para a indústria automotiva é significativo, representando uma oportunidade de desenvolvimento de lubrificantes mais eficientes e menos poluentes.

Portanto, conclui-se que a adição de nanopartículas aos óleos lubrificantes representa uma solução promissora para aprimorar a eficiência dos motores automotivos e reduzir o impacto ambiental. A pesquisa contínua e o desenvolvimento de novas tecnologias são essenciais para superar os desafios atuais e melhorar a aplicação da lubrificação automotiva, tornando-a mais eficiente e sustentável. Com mais estudos e testes, a adição de nanoaditivos pode ser expandida para lubrificantes industriais, marítimos e de aviação, ampliando ainda mais os benefícios dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. P. P. Dissertação de Mestrado (Pós Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ALMEIDA, A. A. A.; PINHO, G. K. **Modelagem e simulação da reação de produção de polialfaolefinas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

BORDIGNON, R. **Desempenho tribológico de grafeno funcionalizado como aditivo em óleo lubrificante de baixa viscosidade**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Florianópolis, Santa Catarina, 2018.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. v. 2. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2018.

ELLWANGER, D. **Análise de desempenho tribológico de lubrificantes automotivos em ensaio de escorregamento metal-metal**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

LUBRAX. **FAQ**. Disponível em: <https://www.lubrax.com.br/faq>. Acesso em: 15 set. 2024.

MELO, L, M. Análise teórica sobre a inserção de nanopartículas em óleo lubrificante para a diminuição do desgaste em superfícies sólidas. **Revista Perquirere**, Patos de Minas, v. 18, n. 2, p. 187-204, 2021. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere>. Acesso em: 25 ago. 2024.

OLIVEIRA E SILVA, A. E. **Transposição didática: a química dos óleos lubrificantes**. 2011. Projeto de Investigação em Ensino de Química (Licenciatura em Química) – Universidade de Brasília, Instituto de Química, Brasília, DF, 2011.

OLIVEIRA, A.M. *et al.* **Nanolubrificantes: caracterização de óleo lubrificante modificado com nanografite**. 2016. Revista IPT, Tecnologia e Inovação v.1, n.2, p. 37-47, 2016. Disponível em: <https://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/issue/view/2>. Acesso em: 25 ago. 2024.

OLIVEIRA, G, M, B **Estudo da utilização de nanoaditivos para melhoria de desempenho de óleos lubrificantes minerais e sintéticos**. 2015. 139 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

OLIVEIRA, T.F. **Aditivação de nanopartículas a óleos lubrificantes em motores de combustão interna**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Faculdade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2022.

PETROBRAS. **Óleos básicos lubrificantes**. Informações Técnicas, dez. 2021. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/assistencia-tecnica/>. Acesso em: 10 set. 2024.

PORTO, J. **Microscópio de Força Atômica passa a ser utilizado em pesquisas na Udesc**. Reportagem, mar. 2013. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2013/03/microscopio-de-forca-atmica-passa-ser-utilizado-em-pesquisas-na-udesc.html>. Acesso em 22 de set. 2024.

SILVA, A. E. O. **Transposição didática: a química dos óleos lubrificantes**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, Instituto de Química, 2011. Projeto de Investigação em Ensino de Química apresentado como

requisito parcial para a conclusão da disciplina “Trabalho de conclusão de Curso 2” do curso de Licenciatura do Instituto de Química.

SILVA, J. H. D. G. **Sínteses de nanopartículas de óxido de ferro aplicadas como aditivos em óleos lubrificantes**. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Brasília, DF, 2021.

SILVA, M. E. **Treinamento sobre óleos lubrificantes e graxas**. Empresa Pax Lubrificantes, 2024.

TRINDADE, E. D. **Efeito do tipo de óleo básico no desempenho tribológico de dialquilditiocarbamato de molibdênio como aditivo para lubrificantes automotivos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.