Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
06 a 10 de Novembro de 2022 | Águas de Lindóia – SP – Brasil

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES TRIBOLÓGICAS E FÍSICAS PARA REDUÇÃO DE FAÍSCAS DE MATERIAL DE ATRITO APLICADO A FREIOS AUTOMOTIVOS

Micael G. Müller[1,2*], Natália P. Lorandi[2] e Daiane Romanzini[1]

1 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)-Campus Feliz. Feliz, RS.
2 – FRAS-LE S.A. RS 122, km 66, Caxias do Sul, CEP 95115-550, RS.
michael.muller@fras-le.com

RESUMO

Atualmente, diversas pesquisas relacionadas a materiais ligantes, modificadores de atrito e reforços mecânicos veem sendo conduzidas, e também novos estudos relacionados a fibras e cargas funcionais estão sendo explorados na indústria de material de fricção. Estas complexidades aumentam quando fatores como aquecimento do sistema de freio e geração de faíscas durante o processo de frenagem necessitam ser minimizados em função de aplicações severas pelo qual o sistema é submetido. Neste campo, estudos vêm sendo conduzidos a fim de identificar estes fatores e quais materiais podem atenuar ou eliminar a geração de faíscas e, em alguns momentos, a ignição dos materiais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma nova composição de material de atrito para freios automotivos, com propriedades tribológicas e físicas adequadas à redução de faíscas. Para isso, a fibra poliacrilonitrila oxidada (PANOX) foi adicionada em combinação com os materiais da formulação base do sistema de freio, com variações percentuais equivalentes de 1:1 (amostra S1), 1:2 (amostra S2) e 1:4 (amostra S3) em volume quando comparado com fibra de aramida originalmente utilizada. As matérias primas foram processadas seguindo as especificações determinadas. O procedimento de teste FMVSS 121D em sistema de freio a ar com variações de velocidade, pressão e temperatura foi realizado. Também foi realizada a análise de faísca gerada nas aplicações. A caracterização das propriedades físicas foi realizada por meio de ensaios de força de cisalhamento interno, compressibilidade e transmissibilidade térmicas. Foi possível verificar que a geração de faísca na amostra S3 foi equivalente ao material base, diferente dos resultados apresentados na amostra S1, apresentando uma tendência de redução da geração de faísca com o acréscimo da fibra PANOX. Além disso, amostras contendo fibra PANOX apresentaram maiores valores para a força de cisalhamento interno, e os valores de compressibilidade aumentaram para a amostra S3. Desta forma, a partir deste estudo preliminar, pode-se perceber que, para a amostra S3, um mesmo percentual de faísca foi gerado, enquanto que ocorreu uma melhora nas propriedades físicas, em relação ao material base.

Palavras-chave: *Poliacrilonitrila Oxidada, Pastilha de Freio e Faísca.*

INTRODUÇÃO

O sistema de freio tem origem adjacente a invenção da roda. Ao longo do tempo, os sistemas de frenagem tiveram inúmeros avanços tecnológicos até o sistema atual. No que se refere a

sistemas de freio, é de suma importância a eficácia, e para isso, muitos fatores são importantes como o as características do material de atrito, área de contato, entre outros [1-3].

No que se refere ao material de atrito, é um dos principais componentes para o desempenho durante a frenagem, necessitando atender a diversos requisitos como resistência mecânica, coeficiente de atrito, ruído, entre outras características determinadas para cada tipo de aplicação [3,11].

A fim de alcançar características específicas para atender estes requisitos de desempenho, os materiais de atrito são compostos, por exemplo, por fibras, abrasivos, aglomerantes, lubrificantes e cargas. Alguns apresentam características multifuncionais, dificultando a sua classificação, pois são utilizados para aproveitamento dos efeitos sinérgicos do uso combinado [3,4,10].

Combinações de diversos tipos de materiais estão sendo ampliadas continuamente, visando a melhoria de propriedades mecânicas, tribológicas e de desempenho, conforme o princípio da ação combinada. Portanto, é fundamental manter as propriedades tribológicas do material de atrito sem reduzir o tempo de vida útil [4,5,9,10].

Estas complexidades aumentam quando fatores como aquecimento do sistema de freio e geração de faíscas durante o processo de frenagem gerados pelo contato disco-pastilha necessitam ser minimizados, e nestes casos faz-se necessária a utilização de matérias-primas com múltiplas funções [12].

Neste campo, estudos vêm sendo conduzidos a fim de identificar em cada sistema os principais fatores e quais matérias-primas podem atenuar ou eliminar a geração de faíscas e, em alguns momentos, a ignição dos materiais [12-14]. Nestes estudos, foram apontados materiais capazes de promover a formação de tribofilme, materiais capazes de prevenir a perda de massa do sistema, gerando teores mais baixos de particulados, e materiais utilizados como retardantes de chamas em compostos poliméricos. Entretanto, não foram encontradas pesquisas direcionadas para a redução de faíscas e chamas em sistemas de freio disco-pastilha [9-14].

Até o momento, Ahmadijokani et al (2019) estudaram o efeito de fibras curtas de carbono no comportamento térmico, mecânico e tribológico em materiais de atrito com resina fenólica [18]. Os autores verificaram que o uso de fibra PAN contribuiu para uma melhoria significativa na dureza e flexão do material além de uma melhora na estabilidade térmica das amostras testadas, fatores a serem estudados juntamente com a geração de faíscas e ignição dos componentes do sistema.

Deste modo, o objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma nova composição de material de atrito para freios a disco, com propriedades tribológicas e físicas adequadas à redução de faíscas e melhora no desempenho mecânico do material.

Para isso, a fibra poliacrilonitrila oxidada (PANOX) foi testada em combinação com os materiais da formulação base 1 do sistema de freio, com variações percentuais de 0,6%, 1,2% e 2,4% em peso substituindo a fibra de aramida originalmente utilizada. A incorporação da fibra PANOX visa melhorar o reforço mecânico e a estabilidade térmica do material de atrito e, deste modo, reduzir o percentual de materiais particulados que se desprendem do material de atrito da pastilha que, atingindo elevadas temperaturas, geram faísca durante a aplicação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para preparação das amostras, foi utilizada a formulação base (FB) para fabricação da peça padrão. As amostras S1, S2 e S3 contém percentuais de 0,6%, 1,2% e 2,4% em peso da fibra PANOX, respectivamente, na formulação base (Tabela 1).

Tabela 1 - Materiais Base

Material	Base 1 % volume
Fibras orgânicas	0,5 – 3,0
Partículas metálicas	25,0 - 30,0
Ligantes	12,0 – 16,5
Modificadores de atrito	45,0 - 50,0
Cargas	2,0 – 6,5

As matérias primas foram misturadas no misturador Semco de 20 L, após as pastilhas de freio foram prensadas a temperatura média de 160°C a uma pressão média de 200 bar. Após esta etapa as amostras foram enviadas para o forno de tratamento térmico por 8 h a temperatura de 270°C.

O teste relacionado ao Padrão Federal de Segurança de Veículos Motorizados, ou *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS) foi adaptado e realizado em dinamômetro de inercia e consistiu em realizar 200 paradas do sistema com velocidade equivalente a 64 km/h com o sistema aquecido a uma temperatura de 157°C e 196°C. Após, o sistema de freio foi resfriado entre 32°C e 37°C, e na sequência o teste de frenagens foi repetido nas temperaturas de 232°C e 288°C na etapa de assentamento[19].

O coeficiente de atrito e a perda de massa ao longo do ensaio foram determinadas a partir do ensaio de atrito Chase, seguindo o procedimento SAE J661. Neste procedimento, estágios de frenagens, estágios térmicos e complementares foram realizados [15, 16]. Todos os dados foram coletados por meio de um computador e *software* apropriado conectado ao equipamento, onde posteriormente serão coletados os dados do ensaio. Antes e após os ensaios, a amostra foi medida com relógio comparador milesimal e pesada em uma balança de precisão a fim de obter as massas e a perda de massa ao longo do ensaio A caracterização passou por dois ciclos com duas etapas *fade* e *recovery* a fim de finalizar os procedimentos de caracterização [16,17].

A caracterização das propriedades físicas foi realizada por meio de ensaios de força de cisalhamento interno seguindo a norma ISO 6311, compressibilidade e transmissibilidade térmicas seguindo a norma ISO 6310. Estes ensaios determinados seguem os padrões em conformidade com as práticas industriais aplicados em materiais de atrito [15-17].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento de teste FMVSS 121D em sistema de freio a disco com variações de velocidade, pressão e temperatura, foram comparados e registrados. A pressão de teste teve uma variação de 1,5 até 9 bar obtendo respostas de torque entre 2 a 19 kNm. Respostas em performance foram avaliadas nas temperaturas de 100°C e 300°C. O comportamento entre os materiais se aproximaram entre si, gerando uma diferença máxima ligeiramente inferior a 100 kNm conforme Figura 2.

A análise de faísca gerada nas aplicações é um fator importante para segurança do sistema de frenagem a fim de minimizar possíveis ignições. Para este ensaio, foi utilizado um software específico para quantificar a área total representada pelas faíscas em relação a área total da imagem em análise, e convertida na forma gráfica conforme Figura 3.

Quando comparada a resposta obtida durante os ensaios, foi possível observar que as amostras S2 e S3 obtiveram desempenho de forma semelhante ao material base, em alguns pontos apresentando ligeira redução do percentual de faísca nas etapas intermediarias. Isso pode ser atribuído a uma maior estruturação e reforço relacionado ao percentual de fibra utilizada e deste modo, reduzindo o desprendimento de moires percentuais de material particulado que aquecem durante o atrito gerado durante no processo de frenagem.

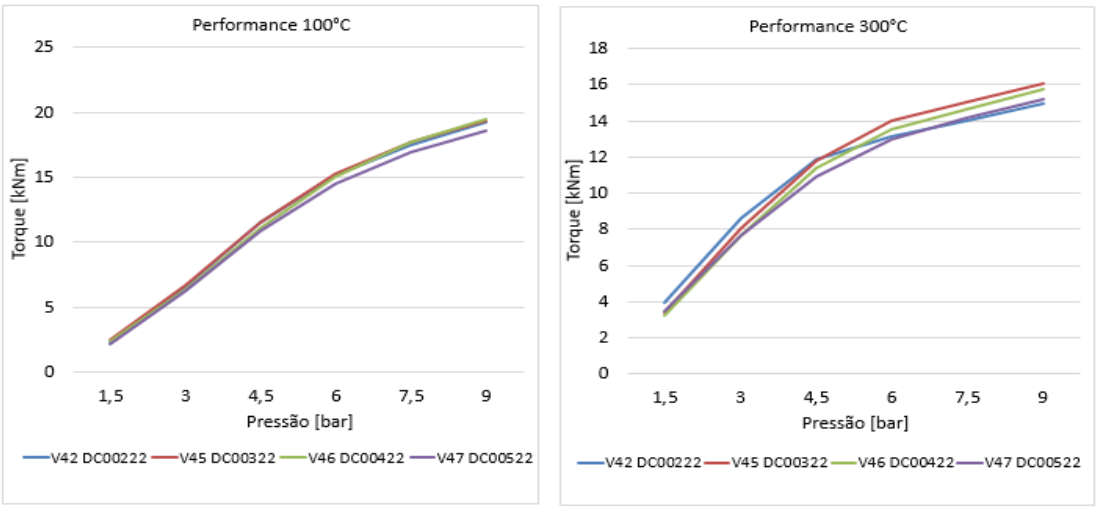

Figura 2 - Performance à 100°C e 300°C no teste FMVSS 121D em sistema de freio

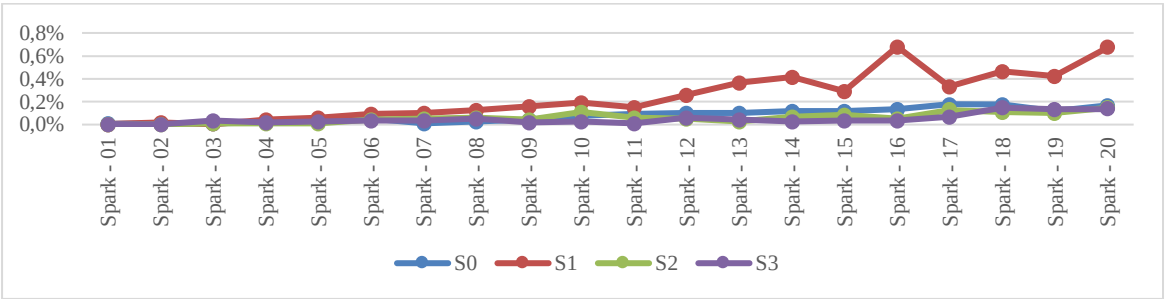

Figura 3 - Percentual de faísca de 0 até 6 segundos

As propriedades físicas analisadas de força de cisalhamento interno, compressibilidade, transmissibilidade térmica, massa específica e porosidade estão apresentadas na Tabela 2.

Conforme pode ser observado, maiores valores para a força de cisalhamento interno foram reportados para as amostras contendo fibra PANOX, em relação ao material base. Esse resultado pode ser explicado pela geometria da fibra PANOX em relação a fibra de aramida, a qual adiciona fibras de maior comprimento. Deste modo a força necessária para romper a adesão da fibra no material ligante é maior, mecanismo que ocorre por meio da trinca que se propaga até exceder a resistência ao cisalhamento ocorrendo a ruptura. Esse comportamento também foi reportado em outros estudos [20].

Os valores de compressibilidade das amostras com fibra PANOX apresentaram uma tendência de aumento em relação ao aumento do percentual de fibra adicionado. Entre as amostras testadas, a S2 se aproximou aos valores do material base no ensaio de compressibilidade a frio e quente, mostrando uma tendência de aumento da compressibilidade em relação ao aumento do percentual da fibra PANOX. Resultados para a transmissibilidade térmica apresentaram um decréscimo nos valores em relação ao aumento do percentual da fibra estudada, indicando tendência de estabilidade térmica do material.

Tabela 2 - Caracterização Física

Teste	Foça de Cisalhamento Interno (N/mm²)	Compressibilidade Frio (%)	Compressibilidade Quente (%)	Transmissibilidade Térmica (°C)	Massa Específica (g/cm³)
S0	7,6 ± 2,3	112,8 ± 28,0	157,3 ± 19,3	161,0 ± 2,0	3,3 ± 0,2
S1	9,9 ± 3,0	103,5 ± 25,8	149,0 ± 29,5	171,5 ± 18,0	3,3 ± 0,1
S2	9,7 ± 4,4	112,3 ± 25,5	152,6 ± 32,5	163,9 ± 14,5	3,2 ± 0,1
S3	9,3 ± 3,5	125,1 ± 45,0	181,3 ± 45,0	154,8 ± 11,5	3,1 ± 0,1

Estudos relacionados ao uso de fibras, que utilizam aumento ou redução progressivos corroboram com os dados identificados neste estudo [18,19,21]. O comportamento da massa específica teve alteração significativa com o aumento do percentual de fibras incorporado.

CONCLUSÕES

As avaliações realizadas nos materiais propostos apresentaram uma elevação na resistência ao cisalhamento interno, apresentando uma boa opção para substituição de materiais quando necessária elevação destas propriedades.

Considerando os resultados de compressibilidade a frio e quente das amostras caracterizadas, elas apresentam elevação dos resultados em ambas condições, obtendo um material de menor dureza, essa característica refletem no teste de transmissibilidade térmica que reduz com o aumento do percentual de fibras, característica também evidenciada nos resultados de massa específica.

Por fim, as amostras S2 e S3 apresentaram resultados ligeiramente inferiores a S0 no resultado de geração de faísca. Estes resultados corroboram para alternativa de um material auxiliar na solução da redução de faísca e aumento da resistência mecânica do material de atrito em estudo.

REFERÊNCIAS

1. BRAKES, Brake Control and Driver Assistance System – Function Regulation and Components, Hessen, Germany Springer, 2014.
2. BLAU, P. J. Friction Science and Technology - From concepts to applications. 2º ed, CRC Press, New York, USA, 2009.
3. V. MAHALE, J. BIJWE, S. SINHA, Influence ofnano-potassium titanate particles on thep erformance of NAO brake-pads, Wear 376-377 (2017) 727–737.
4. Y. LIU ET AL. Evaluation of wear resistance of corn stalk fiber reinforced brake friction materials prepared by wet granulation, Wear 432–433 (2019) 102918.
5. S. JEGANMOHAN, B. SUGOZU, Usage of powder pinus brutia cone and colemanite combination in brake friction composites as friction modifier, Materials Today.
6. M. AMIRJAN, Microstructure, wear and friction behavior of nanocomposite materials with natural ingredients, Tribology International (2018)
7. Y. C. KIM ET AL, The effect of phenolic resin, potassium titanate, and CNSL on the tribological properties of brake friction materials, Wear 264 (2008) 204–210.
8. S. JEGANMOHAN ET AL, Experimental Investigation on the friction and wear characteristics of palm seed powder reinforced brake pad friction composities, J. Inst. Eng. India Ser. D 101, 61–69 (2020).
9. D. C. JARA, H. JANG, Synergistic effects of the ingredients of brake friction materials on friction and wear: A case study on phenolic resin and potassium titanate, Wear 430–431 (2019) 222–232.
10. R. YUN, P. FILIP, Y. LU, Performance and evaluation of eco-friendly brake friction materials. Tribology International 43 (2010) 2010–2019.
11. X. ZHAO ET AL. Interfacial characteristics between mineral fillers and phenolic resin in friction materials. Materials Express Vol 10. N1. (2020).
12. K. N. KUMAR, K. N. S. SUMAN. Review of brake friction materials for future development. MAT Journal 1-29 (2017).
13. G. LUNN. Frictional Ignition of powders: A review. Health and Safety Laboratory. BUXTON (2002).
14. A. BONFANTI. Low-impact friction materials for brake pads, University of Trento (2016).
15. F. AHMADIJOKANI ET. AL, Effects of hybrid carbon-aramid fiber on performance of non-asbestos organic brake friction composites.

16. B. ÖZTÜRK, T. MUTLU, Effects of zinc borate and fly ash on the mechanical and tribological characteristics of brake friction materials. Tribology Transactions (2015).
17. H. S. JAGGI ET AL, Dynamic mechanical response and fade-recovery performance of friction composites: effects fly ash and resin combination. Journal of reinforced plastic e composites (2013).
18. F. AHMADIJOKANI ET AL, Effect of short carbon fiber on thermal, mechanical and tribological behavior of phenolic-based brake friction materials, Composites Part B (2019).
19. R. L. HOOVER, S. B. ZAGORSKI, Comparison of Heavy Truck Foundation Brake Performance Measured with an Inertia Brake Dynamometer and Analyses of Brake Output Responses to Dynamic Pressure Inputs. SAE International (2005).
20. M. LI, R. LUO, Effect of carbon fiber content on mechanical and tribological properties of carbon/phenolic resin composites. 5th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (2015).
21. J. FEI ET AL, Effect of phenolic resin content on performance of carbon fiber reinforced paper-based friction material. Wear 269 (2010) 534 – 540.

EVALUATION OF TRIBOLOGICAL AND PHYSICAL PROPERTIES TO REDUCE SPARKS FROM FRICTION MATERIAL APPLIED TO AUTOMOTIVE BRAKES

ABSTRACT

Currently, several researches related to binding materials, friction modifiers and mechanical reinforcements are being reported, and also new studies related to fibers and functional loads are being explored. These complexities increase when factors such as heating of the brake system and generation of sparks during the braking process need to be minimized due to the severe applications in which the brake system is subjected. In this field, studies have been conducted in order to identify these factors, considering materials that can attenuate or eliminate the generation of sparks and, at times, the ignition of materials. In this context, the aim of this work is to develop a new composition of friction material for automotive brakes, with tribological and physical properties suitable for reducing sparks. For this, the oxidized polyacrylonitrile fiber (PANOX) was added in combination with the materials of the base formulation of the brake system, with equivalent percentage variations of 1:1 (sample S1), 1:2 (sample S2) and 1:4 (sample S3) in volume when compared to the aramid fiber originally used. The raw materials were processed following the determined specifications. The FMVSS 121D test procedure in an air brake system with variations in speed, pressure and temperature was carried out. The spark analysis generated in the applications was also performed. The characterization of the physical properties was carried out through tests of internal shear force, compressibility and thermal transmissibility. It was possible to verify that the spark generation in the S3 sample was equivalent to the base material, different from the results presented in the S1 sample, showing a tendency of reduction of the spark generation with the addition of the PANOX fiber. Furthermore, samples containing PANOX fiber presented higher values for the internal shear force, and the compressibility values increased for the S3 sample. Thus, from this preliminary study, it can be seen that, for sample S3, the same percentage of spark was generated, while there was an improvement in the physical properties, in relation to the base material.

Keywords: *Oxidized Polyacrylonitrile, Brake Pad and Spark*