

COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE PANox E FIBRAS DE ARAMIDA

POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH PANox AND ARAMID FIBERS

Marco Henrique Zangiacomi e Edison Bittencourt

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Química
Departamento de Tecnologia de Polímeros
Cidade Universitária "Zeferino Vaz"
Caixa Postal 6066 - CEP 13081-970 - Campinas – SP
e-mail: marcozangiacomi@yahoo.com

RESUMO

Neste trabalho foram desenvolvidas várias formulações com a intenção de analisar as principais propriedades dos compósitos para utilização em materiais de fricção, dando ao segmento alternativas na produção de materiais livres do asbesto. Foram testadas várias proporções de fibras de PANox e aramida e também a substituição da alumina pela mica, estudando os efeitos destes aditivos nas propriedades específicas do compósito. A confecção das pastilhas de freio seguiu procedimentos e parâmetros utilizados hoje pela indústria, levando-se em consideração o modelo geométrico BPN 222 da BRASFREIOS utilizados em carros médios de passeio. Foram analisadas as principais características que podem afetar a qualidade final de um compósito, como dureza (Gogan), densidade, umidade das fibras e ponto de cura. Foram analisados os principais parâmetros físicos dos compósitos como resistência ao cisalhamento e o coeficiente de fricção, através da bancada de ensaio Krauss, comparando os resultados de teste com os resultados da pastilha de freio comercial.

Palavras-Chave: compósitos, asbesto, aramida, fibras de carbono, fricção, desgaste.

ABSTRACT

New formulations utilizing high modulus fibers, such as aramid and ppanox, were developed with the purpose to analyze properties of the composites obtained, important for use in friction materials, as an alternative to the utilization of asbestos containing materials. The effect of the ratio of the high modulus fibers was studied, as well as the effect of the substitution of alumina for the mica with respect to specific properties of the composites. The fabrication of the tablets followed procedures and parameters used for the automotive industry. The physical parameters of interest, determined in the composites were hardness (Gogan), density, shear strength, point of cure, and the coefficient of friction. The results compared favorably with the characteristics of commercial brake pads.

Keywords: composites, asbestos, aramid, carbon fibers, friction, wear.

1 - INTRODUÇÃO

Um compósito consiste de uma ou mais fases descontínuas embebidas numa fase contínua. Essa fase descontínua é usualmente resistente e dura, sendo chamada de *reforço* e a fase contínua da *matriz* [1].

Compósitos carbono - carbono são tipos de materiais de estrutura única, os quais constituídos por duas fases com o mesmo elemento: fibras de carbono e matriz carbonácea [2].

As propriedades são muito dependentes das características dos processos de fabricação usados, sobretudo dos materiais brutos e tratamentos adicionais, como a modificação da superfície das fibras e a inclusão da proteção contra a oxidação. Consideráveis mudanças nas propriedades podem ser alcançadas variando certos parâmetros [3].

A aplicação de novos materiais compósitos incentivam o crescimento de novos mercados nos seguintes setores:

transporte, construção, corrosão-resistência, infra-estrutura, elétrico, aeronáutico e aeroespacial. As vantagens de usar materiais compósitos incluem: Resistência mecânica elevada, leveza, resistência a corrosão, flexibilidade e durabilidade.

Os tipos de reforços usualmente empregados em compósitos são as fibras de vidro, carbono, boro e aramida, esse também conhecido pelo nome comercial de Kevlar®. Fibras celulósicas, como a juta, são de grande interesse por causa de sua pequena massa específica ($1.2 \times 10^3 \text{ Kg m}^{-3}$) conduzindo os compósitos a excelentes propriedades específicas, comparáveis em alguns casos àquelas de plásticos reforçados com fibras de vidro (GRP).

Fibra é um termo geral usado para se referir a materiais filamentosos. Frequentemente, a palavra fibra é utilizada como sinônimo de filamento.

As fibras podem ser classificadas como:

- Sintéticas: rayon, aramidas e vidro;
- Naturais: asbesto, algodão e lã.

Apresentam importantes propriedades mecânicas, tais como: Resistência a rupturas, dureza, recuperação de tensões impostas e alongação à ruptura.

As fibras de carbono modernas apareceram nos anos 50, no Japão, e sua produção como reforço em compósitos, na Inglaterra, em 1963. Em 1971 foi realizada a primeira comercialização pela Union Carbide. As matérias primas utilizadas para a produção de precursores de fibras de carbono são o piche, o rayom e a poliacrilonitrila. A poliacrilonitrila (PAN) é um polímero inteiramente sintético e quimicamente homogêneo com cadeias contínuas de carbono e cadeias laterais de nitrilas dispostas a sofrerem reações de ciclização e apropriadas para serem precursoras da fibra de carbono. A poliacrilonitrila apresenta um teor de carbono de 60%. A PAN fornece dois tipos de fibra de carbono:

-Tipo I: O de alto módulo de elasticidade, tratadas termicamente entre 2500° a 3000°C;

-Tipo II: O de alta resistência à tração, tratada termicamente entre 1000° a 1600°C.

A fibra de Kevlar® é um tipo de fibra de aramida que vem sendo utilizada como componente de reforço em estruturas compósitas para resistência ao impacto sob condições ambientais [4].

Essa fibra apresenta boas propriedades a altas temperaturas. Apresenta uma temperatura de transição vítrea (T_g) em torno de 250°C e tem de 134 a 10000 filamentos.

O nome Kevlar® foi dado pela companhia DuPont. Existem três tipos:

-Kevlar® 26: Alta flexibilidade e módulo de elasticidade de 83 GPa;

-Kevlar® 49: Módulo de elasticidade de 131 GPa;

-Kevlar® 149: Módulo de elasticidade de 186 GPa.

Suas vantagens são a flexibilidade e o alto módulo de resistência mecânica.

Asbesto tem sido largamente utilizado como fibra em materiais de fricção para automóveis. A excelente estabilidade térmica, miscibilidade, propriedades tribológicas e o pequeno custo são algumas das razões para a sua popularidade. Em anos recentes, juntando-se a consciência da saúde e do meio ambiente, asbesto não é mais considerado um material de risco livre. Conseqüentemente, o uso de asbesto em revestimentos de freios de automóveis comerciais não é desejável [5].

A importância da matriz é muito grande quando se nota os pontos positivos da matriz, tipo transferência de tensão, proteção da fibra, aumento da secção transversal e melhoria da resistência ao impacto e às falhas. Termoplásticos têm sido utilizados como matrizes. Quando a viscosidade das resinas é relativamente alta, surgem problemas na fabricação de materiais compósitos devido a má infiltração e à umidade, levando a degradação da fibra. As matrizes de maior sucesso e que apresentaram bons resultados são *Polimetilmetacrilato*, *Polisulfona* e *Polietersulfona*, juntamente com as resinas *epóxis*.

As matrizes mais convenientes e extensamente as mais utilizadas são as resinas termofixas. No início da cura, a resina inicialmente líquida atravessa um estágio de gel e

transforma-se finalmente em sólido com ligações transversais tridimensionais.

Resinas fenólicas são antigas e uma das mais largamente usadas. Ela tende a ser frágil e exibe fraca adesão. São baratas, tendo os componentes fenólicos boa estabilidade térmica quando em serviço contínuo a 200°C

As resinas fenólicas são polímeros sintéticos e apresentam propriedades mecânicas e físicas importantes. O primeiro desenvolvimento comercial das resinas fenólicas foi realizado por Leo Baekeland, em 1907 (baquelite). São formadas pela reação do Fenol com Formaldeído. Existem dois tipos de resinas fenólicas: *Novolacs* e os *Resóis*.

a) Novolacs - Uma reação com catalisadores ácidos, entre o fenol e o formaldeído, resulta na formação de uma resina *Novolac*.

b) Resóis - A reação do fenol e do formaldeído, em meio básico, resulta na formação de uma resina Resól [6].

Com a crise do petróleo nos anos 60 e 70, os materiais poliméricos, atingiram preços exorbitantes. Para reduzir um pouco os custos de fabricação, os transformadores (fabricantes de peças) adotaram um procedimento antigo como meio de viabilização econômica: o uso de cargas minerais de baixo custo como aditivos em plásticos e borrachas com fins não reforçantes. Cargas podem ser definidas como materiais sólidos, não solúveis, que são adicionadas aos polímeros em quantidades suficientes para diminuir os custos e/ou alterar suas propriedades físicas.

A fabricação de compósitos carbono-carbono consiste principalmente da fabricação dos precursores da fibra e a sua densificação por uma matriz carbonatada.

A fabricação dos compósitos pode ser conduzida em um ou dois estágios. São classificados como:

-Processo Úmido, também chamado de processo direto;

-Processo usando pré-impregnados (pré-preg), também chamado de processo indireto.

No primeiro caso a fibra é combinada com a resina e convertida na peça final numa única etapa. É um processo simples e de baixo custo, apresentando como desvantagem, o fato de que as peças obtidas têm geometria restrita. No processo usando pré-impregnados, as fibras e a resina são combinadas num estágio preliminar e a conversão do pré-impregnado no produto final ocorre numa etapa subseqüente, fisicamente separado do primeiro [1].

2 – PARTE EXPERIMENTAL

2.1 – *Materiais*

Neste estudo, foi utilizada a fibra de PANox (Poliacrilonitrila Oxidada) fornecida pelo CTA (Centro Técnico Aeroespacial). A fibra de aramida e a resina fenólica 12046 foram fornecidas pela BRASFREIOS. Para facilitar a aglutinação ideal no misturador, optou-se por utilizar a fibra de aramida em forma de polpa, facilitando assim o processamento da mistura.

A carga utilizada foi a barita que apresentou umidade máxima de 0,15% segundo laudo do fornecedor. A grafite utilizada foi a do tipo sintético que apresentou 0,17% de

umidade, sendo que a especificação sugere um valor máximo de 1,0% de umidade. Sua quantidade de carbono livre, também segundo o laudo do fornecedor foi de 99,42% de carbono.

A mica e a alumina apresentaram valores de umidade dentro das especificações.

2.2 – Métodos

As análises realizadas na fibra de poliácridonitrila oxidada (PANox) e de aramida foram as seguintes:

-Teor de Umidade;

-Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);

Foram realizadas as seguintes análises térmicas na resina:

-Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC);

-Análise Termogravimétrica (TGA).

O método de análise de dureza utilizado pela indústria de materiais de fricção é baseado na norma da ABNT NBR-5520, ou seja, o cálculo da dureza Gogan de materiais de fricção para guarnições de embreagens de freios [7].

A norma ABNT NBR – 6143 (Verificação das características de fricção e desgaste das guarnições de freios a disco através da bancada de ensaio Krauss), normatiza e verifica as características de fricção e desgaste para controle de qualidade dos materiais de fricção tipo orgânico, utilizado em pastilhas de freios a discos de automóveis, camionetas de uso misto e utilitário [8].

A análise da massa específica relativa é padronizada pela norma da ABNT NBR-5544, para guarnições de embreagens e freios [9].

Quando uma força cisalhante é aplicada sobre um material, causando uma deformação cisalhante, sendo que a resistência entre esta força e a área em que está sendo tensionada é então denominada *resistência ao cisalhamento*. A determinação da resistência ao cisalhamento de materiais de fricção é normatizada pela norma da ABNT NBR-5537 [10].

2.3 – Confeção dos Compósitos

2.3.1 – Formulação dos Compósitos

Foram formuladas 10 formulações com diferentes quantidades de fibra de PANox e aramida, variando-as de 0 a 10%, com a intenção de se estudar os efeitos das diferentes formulações no coeficiente de fricção e desgaste.

Nas 5 (cinco) primeiras amostras, foram mantidas constantes as quantidades de fibras (8% de PANox e 2% de aramida) e a quantidade de carga mineral (barita) 65%, variando-se as quantidades do lubrificante (grafite) e de abrasivo (abrasivo) de 0 a 15%, sendo que em duas das formulações houve a substituição da alumina por mica (7,5% a 15%) com o intento de se saber qual seria o efeito desta substituição nas propriedades do compósito. Nas outras formulações, variou-se as quantidades de fibra (PANox e aramida), mantendo-se as quantidades dos outros componentes constantes.

2.3.2 – Manufatura dos Compósitos

Nesta etapa foram misturados todos os componentes das pastilhas para que sua distribuição (dispersão) fosse ideal.

O primeiro passo foi o cálculo de cada componente conforme a composição de cada pastilha. Logo após procedeu-se a mistura em um misturador de capacidade de 5 kg acoplado a um motor, com o objetivo de triturar as fibras, obtendo-se uma distribuição satisfatória.

Em primeiro lugar, colocou-se a fibra de PANox e a barita por um tempo de 20 minutos e depois a resina e os demais componentes, dependendo da formulação requerida. O total da operação de mistura e dispersão foi de 40 minutos.

A próxima etapa foi à prensagem a frio da massa obtida na etapa anterior. Calculou-se o peso da pastilha em relação aos dados da massa específica e a massa da pastilha utilizada como referência.

A massa foi colocada nos moldes, completando todas as cavidades do mesmo e levado à prensa, onde foi aplicada uma pressão de 200 kgf/cm² à temperatura ambiente. Nesta parte do processo, logo após a obtenção dos pré-moldes, procede-se à prensagem dos mesmos a quente. A prensa utilizada apresenta 6 pratos com capacidade de 20 peças, prensando assim 120 artefatos por etapa.

Logo após procede-se à prensagem a quente dos pré-impregnados por um tempo de 7 (sete) minutos. A temperatura de operação foi de 140°C e a pressão de 400 kgf/cm², desgasificando a prensa por períodos intermediários de 15 minutos, evitando assim defeitos nas peças por causa da troca de gases que ocorre nesta operação.

Nesta fase, o material atinge uma conformação rígida (cura). Devido à necessidade de uma total reticulação da matriz para que se atingisse melhores propriedades, tornou-se necessária mais uma etapa após a prensagem a quente, chamada de *pós-cura*.

Esta etapa consiste em manter-se as pastilhas em estufa com temperatura gradual por seis horas, sendo que nas primeiras duas horas as pastilhas atingem 120°C. Completadas às duas horas vão a 150°C e depois permanecem por mais duas horas atingindo uma temperatura de 180°C, para a total reticulação da matriz e também a expansão dos metais presentes.

O controle da temperatura tem de ser efetivo para evitar a formação de bolhas e trincas na superfície do compósito.

3 – RESULTADOS

3.1 – Resultados das Análises das Matérias Primas

3.1.1 – Teor de Umidade

A massa da amostra de PANox utilizada foi de 50,69 g e após 1 (uma) hora em estufa a 150°C, a pesagem da fibra apresentou uma massa de 45,47 g. Assim a perda de água corresponde a massa de 5,22 g, correspondendo a 10,36% de umidade na fibra. A fibra de PANox absorve umidade

com certa facilidade quando em contato com o ambiente, segundo pesquisas anteriores [11].

Na fibra de aramida procedeu-se de forma análoga conforme o relatado acima (amostras em estufa por 1 hora a 150°C). A massa da amostra de aramida foi de 50,26 g e a massa após o período de estufa foi de 47,64g, então a perda de água em massa foi de 2,62 g correspondendo a um total de 5,2% de umidade nesta fibra.

3.1.2 – Análise Termogravimétrica (Tga)

Foi analisada uma amostra de 2,87 mg da fibra de PANox. Ocorreu uma perda acentuada de massa até 100°C, correspondendo a aproximadamente 10% de perda de massa. Após a temperatura de 100°C, a fibra de PANox mantém uma perda mássica constante, ou seja, não apresenta uma perda muito acentuada até 350°C. O comportamento perda mássica por temperatura é mostrada na *figura 1*.

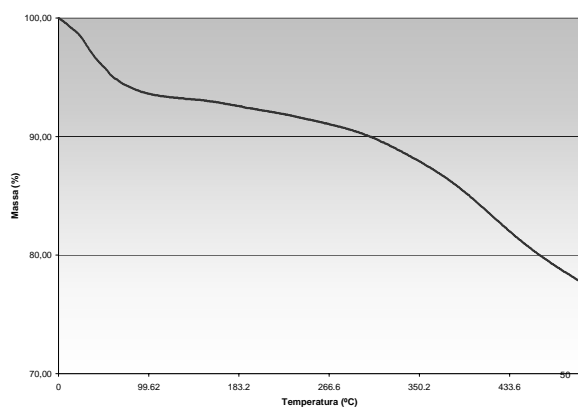


Figura 1 – TGA da fibra de Poliacrilonitrila Oxidada (PANox).

Quando essa temperatura é elevada, acontece uma perda gradual de massa, evidenciando a degradação da fibra de PANox pela ação do calor. Quando a temperatura atinge 500°C, o percentual de perda mássica atinge 25% da massa inicial.

A amostra analisada da fibra de aramida foi de 2,75 mg. Acontece uma perda acentuada de massa entre as temperaturas de 500°C a 650°C.

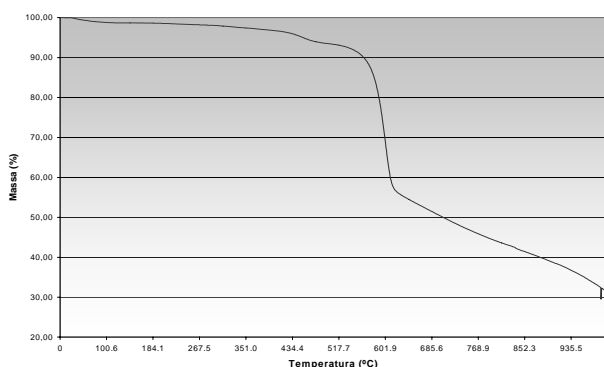


Figura 2 – TGA da fibra de Aramida.

Essa perda corresponde a aproximadamente 50% do peso inicial, o que demonstra a degradação da fibra de aramida por fusão. A *figura 2* mostra a perda mássica da fibra de aramida.

A amostra de resina analisada foi de 9,61 mg. A resina fenólica apresenta uma perda mássica nos primeiros 100°C representando aproximadamente 1,5% de sua massa inicial, correspondendo a perda da sua umidade. A perda é pouco acentuada até os 400°C, cerca de 20% de sua massa inicial. Esta fase é onde ocorre a reticulação da resina.

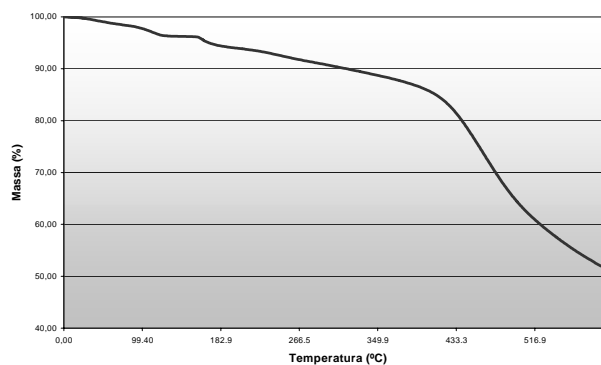


Figura 3 – TGA da Resina Fenólica.

A partir desta etapa, observa-se uma perda de massa, atingindo aproximadamente 50% de sua massa inicial (*figura 3*), mostrando o início da degradação da resina pelo calor.

3.1.3 – Microscopia Eletrônica de Varredura (Mev)

As fibras de PANox apresentam aspecto fibrilar com orientação paralela ao eixo de sua fibra, o que deixa claro o alto grau de orientação das suas fibrilas.

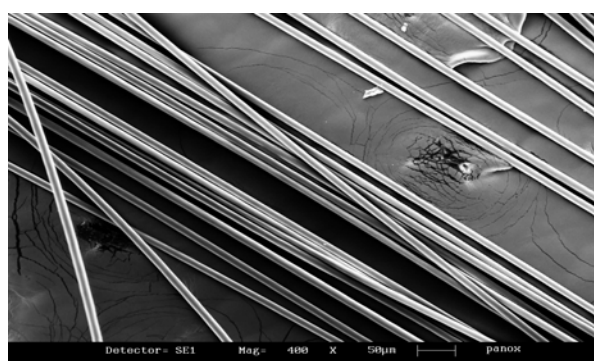


Figura 4 – Microscopia eletrônica da fibra de PANox.

A *figura 4* mostra a seção transversal bem definida, mostrando uma região quase circular em diversas formas, porém com filamentos definidos pelo corte da mesma (*figura 5*).

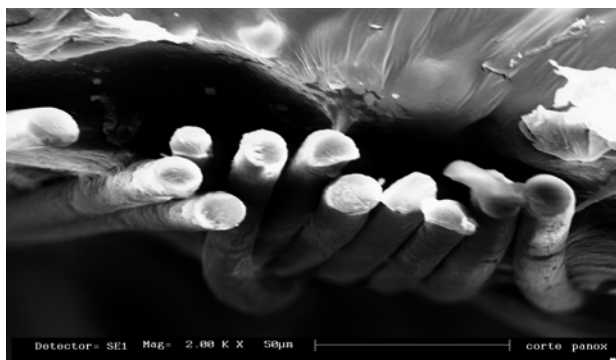


Figura 5 – Microscopia eletrônica da seção transversal da fibra de PANox.

A figura 6 mostra a conformação fibrilar da fibra de aramida. A fibra se apresenta de forma desordenada e entre-cruzada. Observa-se grande volume livre.

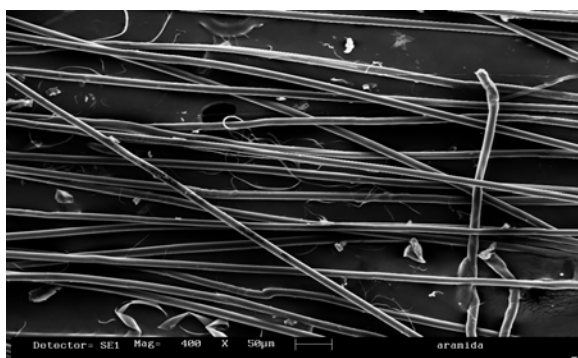


Figura 6 – Microscopia eletrônica longitudinal da fibra de Aramida.

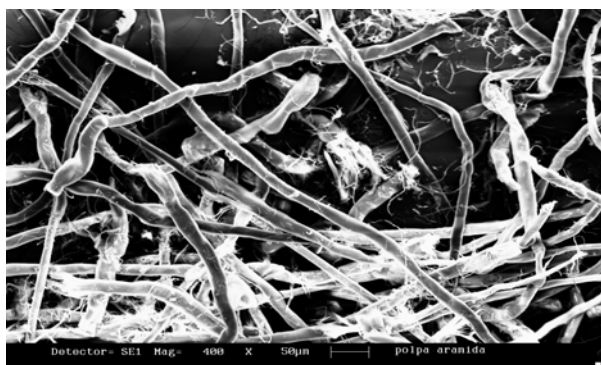


Figura 7 – Microscopia eletrônica da polpa de Aramida.

A figura 7 mostra a micrografia da polpa de aramida. O efeito direto deste volume livre é a diminuição da massa específica nos compósitos que apresentam a fibra de aramida. Com esta característica básica, a fibra de aramida é facilmente dispersada na matriz, aumentando o poder de aglutinação da resina fenólica.

3.2 – Resultados das Análises dos Compósitos

3.2.1 – Dureza (Gogan)

A adição de 8% de PANox, 2% de aramida e 15% de grafite, explica a alta dureza da pastilha de formulação 1. O aumento da dureza na pastilha de formulação 10 é

explicado pela adição de 10% de aramida. Esse efeito pode ser observado nas pastilhas de formulações de 6 a 10, quando a quantidade de fibra de aramida variou de 0% a 10%, tendo um aumento crescente na dureza.

A formulação da pastilha 2 apresentou um pequeno índice de dureza Gogan por causa da adição de 15% de alumina. Observa-se um aumento no índice de dureza, quando adiciona-se 7,5% de grafite e diminui-se a quantidade de alumina (pastilha 3).

Dureza (Gogan)

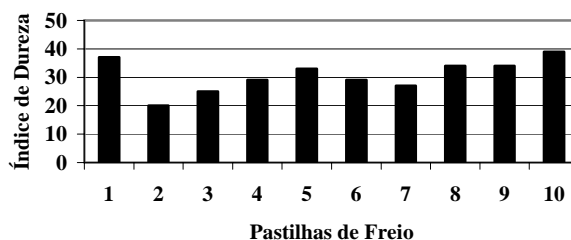


Figura 8 – Índices de Dureza Gogan das pastilhas de freio.

Na figura 8 é demonstrado que nas formulações 4 e 5 existe um aumento no índice de dureza de 29 para 33, quando verifica-se uma diminuição na composição da quantidade de mica (15% para 7,5%) e no aumento da quantidade de grafite (0% para 7,5%).

Os maiores índices de dureza encontrados neste ensaio foram 37 e 39, respectivamente, formulação da pastilha 1 (15% de grafite) e a formulação 10 (10% de aramida e 7,5% de grafite).

3.2.2 – Resistência ao Cisalhamento

Nota-se que o índice de resistência ao cisalhamento aumentou com o aumento do teor de fibra de aramida. Quando a quantidade de fibra atingiu 10% em peso, o índice atingiu 4200 kgf/cm², ou seja, o maior índice entre todas as pastilhas. Nas cinco primeiras formulações, o índice variou de 2500 a 2700 kgf/cm².

Resistência ao Cisalhamento

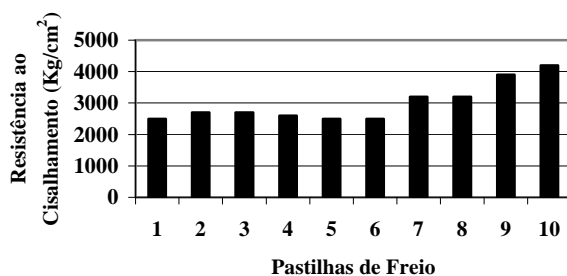


Figura 9 – Índices de resistência ao cisalhamento das pastilhas de freio.

Na figura 9 mostra os índices de resistência ao cisalhamento das pastilhas de freio de formulação 9 e 10 foram as que apresentaram maior dispersão em relação as outras formulações.

3.2.3 – Massa Específica Relativa

Houve uma diminuição gradual na massa específica relativa das formulações das pastilhas de 6 a 10. Esse efeito é causado pela variação da quantidade de fibra de aramida (de 0% a 10%) e pela diminuição da quantidade de fibra de PANox (de 10% a 0%), ou seja, um aumento da quantidade de fibra de aramida e a diminuição da quantidade de PANox diminui o valor da massa específica relativa

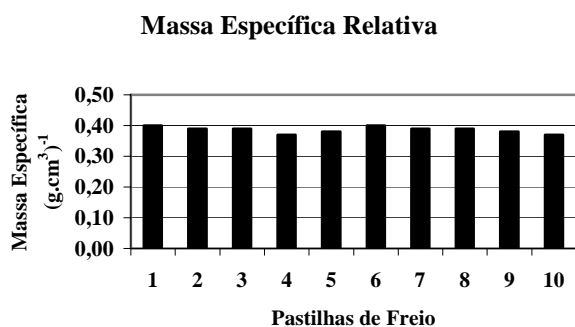


Figura 10 – Massa Específica das pastilhas de freio.

A figura 10 mostra que a fibra de aramida possui um volume livre muito grande, evidenciado pela micrografia da sua polpa, o que pode explicar a diminuição gradual da massa específica (pastilhas de 6 a 10). Nas pastilhas de 1 a 5, onde foram mantidas as quantidades das duas fibras constantes, a massa específica relativa não variou muito, mas estes compósitos apresentaram altos índices de dureza, pois encerram em sua composição 8% de PANox e 2% de aramida.

A massa específica é um parâmetro importante na etapa de prensagem do compósito, pois, quando a massa específica é pequena, o volume de enchimento dos moldes será maior do que o esperado. A inclusão da fibra de aramida diminui sensivelmente esse parâmetro.

3.2.4 – Características de Fricção e Desgaste. Ensaio Krauss

Foi analisada a pastilha comercial BPN 222 da BRASFREIOS como referência para as outras formulações.

O desgaste médio da pastilha comercial foi de 0,63 g e um coeficiente de fricção médio de 0,34, o que servirá de referência para a análise do comportamento de fricção e desgaste das outras formulações manufaturadas.

As médias da pastilha comercial de cada ciclo mantiveram-se constantes com uma pequena dispersão entre os coeficientes nos 10 ciclos realizados.

Uma característica direta observada no desempenho das guarnições foi que a substituição da alumina pela mica não fez com que o parâmetro de dureza tivesse uma variação significativa. O índice de desgaste nesta substituição foi de 0,72 g e 0,84 g, respectivamente. Os maiores desgastes observados foram obtidos nas formulações que apresentaram altos teores da fibra de aramida em sua composição, sendo que o desgaste aumentou com o aumento do teor desta fibra.

Coefficiente de Fricção e de Desgaste

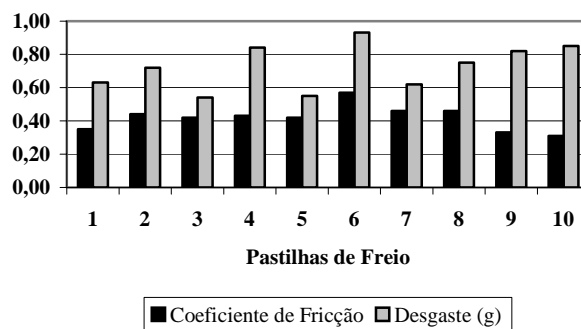


Figura 11 – Coeficientes de fricção e desgaste obtidos pelo teste da bancada Krauss.

Na figura 11 formulações, em que apresentaram altos coeficientes de fricção, a observação primordial foi a do efeito dessas composições sobre o desgaste das mesmas. Notou-se que quando o aumento da fibra de aramida era efetivado, o desgaste aumentava também.

Os índices de desgaste encontrados neste estudo, em relação ao desgaste da pastilha comercial, não ficaram muito dispersos. O maior desgaste foi de 0,93 g contra 0,63 g da pastilha comercial.

Nota-se que o aumento do teor de aramida faz com que os valores do índice de desgaste das pastilhas 7 a 10 aumentem.

4 – CONCLUSÕES

Foram desenvolvidas formulações que apresentaram comportamentos semelhantes ao da pastilha de freio comercial. O grau de cura atingido foi satisfatório durante o tratamento térmico das pastilhas. A substituição da alumina pela mica não afetou o desempenho das pastilhas, mostrando ser uma boa alternativa. O aumento do teor de aramida nas formulações das pastilhas de freio fez com que o índice de desgaste também aumentasse. O aumento dos índices de dureza e de resistência ao cisalhamento foi causado pela adição de aramida nas fórmulas das pastilhas de freio. Por outro lado, o aumento do teor de aramida diminuiu a massa específica do compósito. Os melhores desempenhos das pastilhas de freio formuladas ou as que mais se aproximaram do desempenho da pastilha comercial, foram as pastilhas 1, 9 e 10, o que as configuraram em boas propostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGARWAL, B.D., LAWRENCE, J.B. Analysis and performance of fiber composites. New York: A Wiley Interscience, 1990, 1p.
- [2] HOU, X., LI, H., SHEN, J., WANG, C., ZHU, Z. Effects of microstructure on the internal friction of carbon - carbon composites. Materials Science and Engineering, V. A286, p. 250 - 256, 2000.
- [3] RAND, B. High performance carbon materials. HIPERMAT Conference on high materials, London, Sept, 1989.
- [4] WANG, Y., XIA, Y.M. Experimental and theoretical study on the strain rate and temperature depends of mechanical behaviour of kevlar fibre. Composites, v. 30, part A, p. 1251 - 1257, 1999.
- [5] GOPAL, P., DHARANI, L.E.R., BLUM, F.D. Hybrid phenolic friction composites containing Kevlar® pulp. Part I. Enhancement of friction and wear performance. Wear, v. 193, p. 199 - 206, 1996.
- [6] MCALLISTER, L. E., LACHMAN, W.L. Multidirection carbon - carbon composites. Handbook of composites. Elsevier Science Publishers, v. 4, p 111 - 173, 1983.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro NBR - 5520. Determinação da dureza Gogan de materiais de fricção para guarnições de embreagens de freios.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro NBR - 6143. Verificação das características de Fricção e desgaste das Guarnições de Freios a Disco através da Bancada de Ensaio Krauss.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro NBR - 5544. Determinação da massa específica relativa para guarnições de embreagens e de freios.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro NBR - 5537. Determinação da resistência ao cisalhamento de materiais de fricção.
- [11] AMICO, S. Desenvolvimento de compósitos com fibra de PAN oxidada para utilização em freios automotivos. Tese (mestrado), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

