



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE DA DISPERSÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO DE FRENAGENS REALIZADAS EM UM TRIBÔMETRO COM MATERIAIS DE FRICÇÃO

Patric Daniel Neis, engmecpatric@yahoo.com.br
Ney Francisco Ferreira, neyferr@gmail.com
Flávio José Lorini, lorini@ufrgs.br
Jonas Fantin Giacomelli, jonasjfg@yahoo.com.br

CON10-0120

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Sarmento Leite, 425 – 90050-170 – Porto Alegre – RS - Brasil

***Resumo:** O objetivo deste trabalho é contribuir para o estudo relacionado à dispersão nos resultados do atrito de frenagens realizadas com materiais de fricção com um tribômetro, o qual foi projetado pela equipe do Laboratório do GPFAl (Grupo de Projetos, Fabricação e Automação Industrial) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foram analisados os dados de ensaios de frenagem executados com 3 amostras com diferentes formulações (A, B e C). Empregou-se 3 etapas de ensaio (primeira caracterização, ensaio de alta temperatura e segunda caracterização), baseados na norma alemã (Ak-Master). A análise das curvas de atrito mostra que uma série de processos transientes podem acontecer durante uma sequência de frenagens, tais como assentamento e recuperação do atrito, dificultando a análise da variabilidade devido somente ao material. Porém, através da comparação dos histogramas de atrito de todas as frenagens com aqueles sem as primeiras aplicações (o número de frenagens a ser diminuído depende do material avaliado) é possível separar esses efeitos transitórios através da diferença entre os dois gráficos e, desta maneira, conferir maior precisão para o cálculo da dispersão do atrito devido apenas à variabilidade do atrito inerente ao material.*

***Palavras-chave:** freios, materiais de fricção, variabilidade, tribômetro.*

1. INTRODUÇÃO

Materiais de fricção são materiais heterogêneos, geralmente formados por compactação a quente de 10 a 20 elementos diferentes, conforme citam diversos autores (Eriksson e Jacobson, 2000 e Bijwe et al 2008). Devido à complexidade destes materiais, ainda hoje suas propriedades tribológicas não são muito bem conhecidas. Não foram encontrados na literatura especializada estudos sobre a caracterização da dispersão dos resultados de atrito destes materiais para uma mesma condição de aplicação, repetida sequencialmente um determinado número de vezes. Isso é importante, especialmente durante frenagens, uma vez que o condutor de um veículo espera que o seu sistema de freios sempre responda de maneira semelhante (mesma sensibilidade), sem haver necessidade de alterar a força de acionamento do pedal de freio a cada vez que o mesmo é utilizado. Há uma grande preocupação por parte dos fabricantes com o comportamento do material frente a diferentes parâmetros (temperatura, velocidade ou pressão de aplicação). Porém, os resultados de atrito sob diferentes condições de aplicação podem estar mascarados pela própria característica heterogênea do material de fricção, levando muitas vezes a conclusões errôneas. Dessa forma, o conhecimento da dispersão do atrito devido ao caráter heterogêneo do material torna-se de fundamental importância para o estudo de matérias de fricção utilizados em sistemas de freios veiculares.

Neste trabalho é feita a análise da dispersão do atrito de 3 tipos diferentes materiais de fricção utilizados em sistemas de freios veiculares. Para isso, a mesma condição de frenagem é empregada sucessivas vezes. Para conferir uma situação mais realística, foram aplicadas as mesmas condições de frenagens que ocorrem em veículos reais (baseadas em normais internacionais), porém adaptadas para utilização em um tribômetro de frenagem. Os resultados são apresentados na forma de curvas de atrito ao longo do tempo, de atrito médio e de histogramas de frequência de atrito. São também realizadas comparações da dispersão de atrito entre ensaios realizados antes e após a aplicação de um ensaio onde o material é submetido a altas temperaturas. A idéia por detrás disso é saber se existe alguma tendência à diminuição ou aumento da dispersão do resultado de atrito do material após ser submetido a altas temperaturas.

2. METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE FRENAGEM

Este capítulo apresenta a metodologia de trabalho empregada, começando pela bancada de teste adotada (um tribômetro), depois pelas amostras utilizadas e finalmente as etapas e parâmetros operacionais empregados nos ensaios.

2.1. O Tribômetro

Os ensaios de frenagem utilizados neste trabalho foram realizados em um tribômetro de frenagem desenvolvido numa parceria entre a UFRGS e um fabricante de materiais para freio (Fig. (1)). Essa máquina foi projetada para atender as condições reais de frenagem, tais como pressão de contato e velocidades de escorregamento entre a pastilha e o disco, seguindo o levantamento realizado por Infantini (2008). Neste equipamento o corpo de prova tem um tamanho reduzido, a fim de permitir a versatilidade nos ensaios com custos menores.

Quanto à velocidade de rotação do disco, o tribômetro pode operar em dois modos distintos:

Modo de arrasto constante: a velocidade de rotação do disco é mantida constante durante a fricção deste com o material de atrito;

Modo de desaceleração do disco: a velocidade de rotação do disco diminui a uma taxa pré-ajustada à medida que a frenagem se desenvolve, de forma similar ao que ocorre durante as frenagens de sistemas reais ou mesmo em máquinas de grande porte, como os dinamômetros inerciais.

Quanto à carga aplicada, o tribômetro pode operar em dois diferentes modos:

Modo força constante: neste caso a força de frenagem é mantida constante ao longo do ensaio enquanto o torque frenante está livre para variar de acordo com o coeficiente de atrito.

Modo torque constante: o torque de frenagem é mantido constante independente da força de atrito. Isso é feito controlando a força aplicada pelo atuador a cada fração de segundo. O controle deste processo é feito em malha fechada (realimentado por um transdutor de torque) pelo sistema de controle do equipamento de teste.

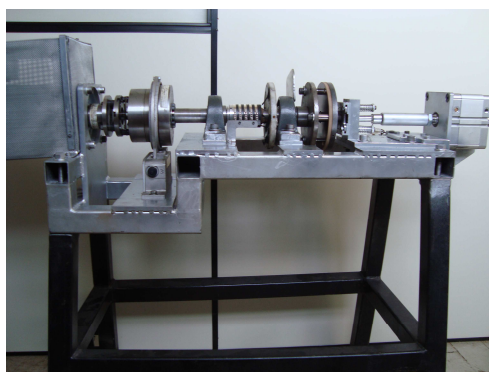


Figura 1. Tribômetro de frenagem utilizado nos ensaios.

Arrieche (2008) realizou estudos comparando ensaios de frenagem do tribômetro com um equipamento bastante usado para este tipo de aplicação, um dinamômetro inercial. O autor conclui que o equipamento projetado é capaz de reproduzir os ensaios do dinamômetro com respeito à pressão de contato e velocidade de escorregamento. A única exceção é a temperatura do disco que, conforme o autor, no atual estágio de desenvolvimento o tribômetro avaliado não é capaz de reproduzir as mesmas taxas de aquecimento do disco que ocorrem no dinamômetro inercial durante as frenagens. O autor faz uma ressalva que com algumas modificações no sistema de atuação e de isolamento do disco da máquina projetada e ainda utilizando amostras com maior área de contato aparentemente sejam atingidas temperaturas equivalentes às do dinamômetro inercial.

2.2. As Amostras

Foram utilizados 3 tipos de amostras de materiais de fricção, de diferentes formulações, doravante indicadas pelas letras A, B e C. A geometria dos corpos de prova é circular, com diâmetro de 18mm, equivalente a uma área de 255mm². O disco de freios empregado, fabricado a partir de ferro fundido cinzento, foi mantido o mesmo durante todos os ensaios.

2.3. Etapas e Parâmetros Operacionais Empregados

Foram executadas 3 etapas de ensaios no tribômetro, as quais foram categorizadas de acordo com os diferentes propósitos. São elas:

I) *Primeira caracterização:* são os 40 primeiros ensaios de frenagem, com o objetivo de encontrar a dispersão do atrito para o material antes que o mesmo tenha sofrido algum tipo de transformação física ou química devido às condições de trabalho, ou seja, com o material ainda verde. Os parâmetros operacionais de velocidade de

escorregamento, pressão de contato e temperatura inicial do disco empregados nesta etapa estão baseados na norma alemã Ak-Master (1998) para ensaios em dinamômetros inerciais, porém convertidos para ser aplicados no tribômetro. Por limitações deste equipamento, não houve preocupação com relação ao cumprimento das mesmas taxas de aquecimento do disco que ocorrem em dinamômetros inerciais durante a execução da norma Ak-Master (1998), sendo cumprida apenas a mesma temperatura inicial ou temperatura de gatilho indicada por essa norma. Quanto ao tempo de duração da frenagem, foi aplicado o tempo médio de uma frenagem típica avaliada em dinamômetro inercial sob condições similares de velocidade e pressão de contato.

Assim, ajustou-se o tribômetro para operar no modo de desaceleração e carga constante. A força aplicada sobre as amostras (com área de 255 mm²) foi de 390N, enquanto as velocidades de rotação inicial e final do disco foram, respectivamente, de 1814 e 668 rpm, valores que equivalem às velocidades lineares médias de aproximadamente 80 e 30 km/h em veículos leves, respectivamente. A temperatura inicial do disco ou temperatura de gatilho ajustada foi de 55°C enquanto a temperatura final ficou livre para variar de acordo com coeficiente de atrito do material. O tempo de duração de cada frenagem nesta etapa foi de 7,2s.

II) *Ensaio de alta temperatura*: esse ensaio é feito logo após a execução dos 40 ensaios da primeira caracterização e tem o objetivo de submeter as amostras a uma temperatura superior a 300°C, que é a temperatura em que, segundo Cristol-Bulthé et al (2008), começam a ocorrer processos de degradação da resina fenólica do material compósito. A condição de operação ajustada para o equipamento durante essa etapa é de arrasto e torque constantes. A velocidade de rotação aplicada foi de 1050 rpm, equivalente a uma velocidade linear média de aproximadamente 45 km/h em veículos médios, enquanto o torque constante aplicado foi de 13Nm. A temperatura inicial do disco empregada nos ensaios foi de 55°C enquanto a temperatura final foi de 380°C, cujo valor é atingido após um tempo de 360s para as 3 amostras, já que a energia entregue ao sistema é a mesma, dado que a velocidade, o torque e o tempo são mantidos fixos nos testes.

III) *Segunda caracterização*: são os 40 últimos ensaios de frenagem, executados sob as mesmas condições operacionais dos ensaios da primeira caracterização. O objetivo desta etapa é encontrar a dispersão do atrito para o material depois que o mesmo tenha passado por um regime de alta temperatura e possivelmente tenha sofrido transformações físico-químicas. É possível ainda estabelecer comparações entre os resultados encontrados durante essa etapa com a primeira caracterização.

As características e condições operacionais estão resumidas na Tab. (1), onde é mostrada a velocidade (em rpm) aplicada no tribômetro para cada etapa, bem como a velocidade linear equivalente à velocidade média de 12 sistemas de freios de veículos leves comerciais. Os dados de temperatura equivalem à temperatura medida com pirômetro óptico ajustado a emissividade de 1, mesma técnica aplicada por Arrieche (2009) durante seus ensaios. A taxa utilizada para aquisição dos dados no computador durante todos os testes foi de 10hz.

Tabela 1. Parâmetros operacionais utilizados em cada etapa de ensaio realizado no tribômetro.

Parâmetro	Etapa		
	Primeira caracterização	Alta temperatura	Segunda caracterização
Rotação Inicial (rpm)	1814	Rotação constante = 1050	1814
Rotação Final (rpm)	668		668
Velocidade Inicial Equivalente Veículos Leves (km/h)	80	Velocidade equivalente constante = 45	80
Velocidade Inicial Equivalente Veículos Leves (km/h)	30		30
Temperatura Inicial / Final (°C)	55 / variável	55 / 380	55 / variável
Torque Frenante (Nm)	-	13	-
Carga Aplicada (N)	390	-	390
Tempo de Atuação (s)	7,2	360	7,2

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são analisados os resultados dos testes em termos de variabilidade do coeficiente de atrito para cada etapa isoladamente. O foco de interesse deste trabalho é analisar a variabilidade do coeficiente de atrito médio apresentado durante cada aplicação de frenagem das etapas de primeira e segunda caracterização, não sendo feitas análises desta variável ao longo (ou dentro) de uma frenagem. Também são feitas discussões a respeito dos processos transientes do coeficiente de atrito e meios de análise dos mesmos.

3.1. Primeira Caracterização

Os resultados da primeira caracterização são apresentados na Fig. (2), onde em (a), (c) e (e) são mostradas, respectivamente, as curvas de atrito ao longo do tempo de algumas frenagens para os materiais A, B e C enquanto em (b), (d) e (f) são mostradas as curvas do coeficiente de atrito médio com respeito àqueles materiais, respectivamente. Essas últimas curvas apresentam os resultados do atrito médio calculados para cada uma das 40 aplicações, cujos pontos

estão unidos por uma linha contínua a fim de facilitar a visualização do comportamento do atrito com o incremento do número de aplicações.

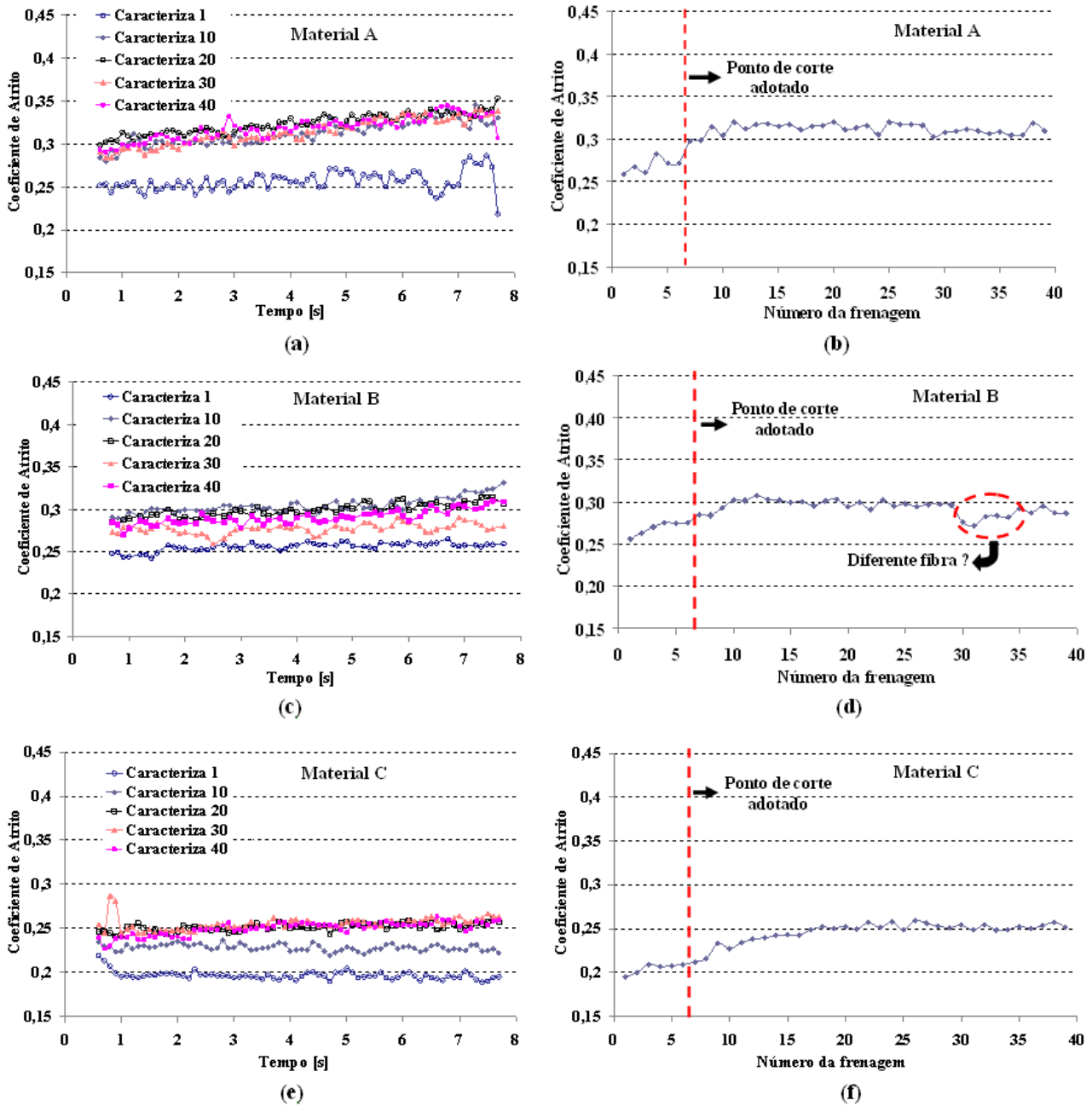


Figura 2. Resultados da etapa de primeira caracterização, onde em (a), (c) e (e) tem-se algumas curvas de atrito ao longo do tempo para os materiais A, B e C, respectivamente, e em (b), (d) e (f) a média do coeficiente de atrito para cada frenagem aplicada, referente àqueles materiais, respectivamente.

Note que na Fig. (2-a) a curva referente a 1ª aplicação se desenvolve com um atrito relativamente mais baixo enquanto a próxima curva mostrada (no caso a 10ª aplicação) já mostra um valor de atrito relativamente maior e mais semelhante às demais curvas. Não é possível precisar através da referida figura onde termina o processo transitório de aumento do atrito uma vez que, por questão de clareza, não foram inseridas todas as 40 frenagens, sendo utilizado um passo (ou resolução) de 10 frenagens. Esse efeito pode ser melhor observado na Fig. (2-b). Possivelmente, o processo de aumento do atrito médio durante as primeiras aplicações, com posterior tendência a estabilização, seja devido ao efeito de uniformização da área de contato do material atritado, fenômeno conhecido tecnicamente como assentamento do material. Para fins de análise posterior dos dados na forma de histogramas de frequência (de repetição do fenômeno) do atrito, foi estabelecido um ponto de corte após a sexta frenagem (linha vermelha tracejada em (b), (d) e (f)), que foi aplicado a todos os materiais durante as etapas de primeira e também de segunda caracterização. O objetivo disto é comparar os resultados decorrentes de todas as 40 frenagens com os histogramas decorrentes das frenagens 7 a 40, ou seja, sem as 6 primeiras aplicações.

Já a Fig. (2-c) mostra que um fato novo ocorreu neste ensaio: as aplicações de frenagem de número mais alto (30 ou 40) desenvolvem atrito relativamente menor do que as anteriores (10 e 20). A Figura (2-d), que mostra o coeficiente de atrito médio calculado para cada uma das 40 aplicações, ajuda a elucidar o fato. Percebe-se que o atrito tem um comportamento “normal” (com uma zona de transição ou assentamento entre as frenagens 1 e 10 e posterior estabilização) até a 29ª aplicação. Depois disso, ocorre uma relativamente brusca queda do coeficiente de atrito, entre as frenagens 30 e 34 (círculo vermelho da Fig. (2-d)), com um ligeiro acréscimo entre as frenagens 35 e 40. Possivelmente, esse efeito de queda do atrito entre as frenagens 30 e 34 seja uma consequência da heterogeneidade do material, onde que um diferente tipo de fibra tenha predominado durante o contato com o disco.

Pelos resultados da Fig. (2-e) percebe-se novamente o processo transitório de aumento do coeficiente de atrito ou assentamento, com posterior tendência de estabilização à medida que são incrementadas as aplicações de frenagem. Esse fenômeno pode ser melhor verificado na Fig. (2-f). Repare que o processo de assentamento para este material (C) é relativamente mais lento do que para os demais (A e B) materiais durante esta etapa.

A Figura (3) apresenta os histogramas do atrito médio da etapa de primeira caracterização, avaliado sobre todas as 40 aplicações de frenagem em (a), (c) e (e) e também com relação às frenagens depois do ponto de corte (aplicações de número 7 a 40) em (b), (d) e (f), correspondentes aos materiais A, B e C, respectivamente.

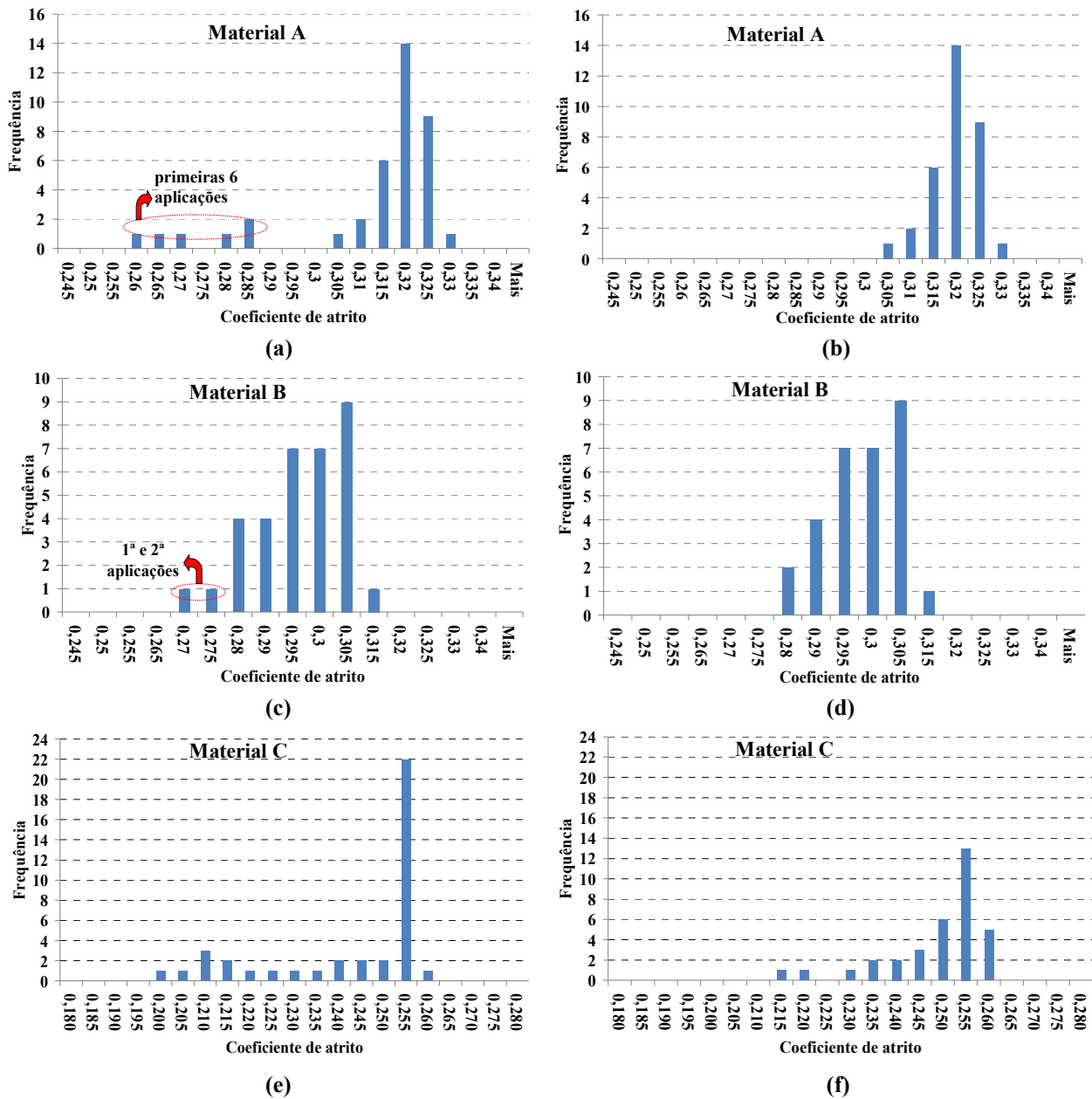


Figura 3. Histogramas do atrito médio para a primeira caracterização, onde em (a), (c) e (e) avaliado sobre todas as 40 aplicações e em (b), (d) e (f) sem as 6 primeiras aplicações para os materiais A, B e C, respectivamente.

Note que o histograma da Fig. (3-a), avaliado para o material A, mostra uma região (círculo vermelho do gráfico) com valores de atrito que são relativamente mais baixos e que não aparecem no histograma das frenagens 7 a 40,

mostrado na Fig. (3-b). A diferença entre eles é provavelmente devido ao processo de assentamento (ou recuperação, conforme será mostrado mais adiante) que, neste caso, corresponde as 6 primeiras frenagens. Essa metodologia de comparação entre os histogramas para determinar efeitos transitórios é aplicada aos demais materiais.

O histograma da Fig. (3-c), avaliado para o material B, também mostra uma região com valores de atrito que são relativamente mais baixos (frenagens 1 e 2, conforme destacado pelo círculo vermelho). Como esses valores de atrito não aparecem na avaliação mostrada na Fig. (3-d), provavelmente os mesmos correspondam ao processo de assentamento do material de fricção.

Repare que nos histogramas do material C (Fig. (3-e) e Fig. (3-f)) não se fez menção das frenagens com atrito relativamente mais baixo, correspondentes ao fenômeno de assentamento. Isso ocorreu porque esse processo para este material é mais longo do que para os demais (A e B) e, desta forma, possivelmente o histograma das aplicações de 7 a 40 (Fig. 3-f) também contenha frenagens referentes ao processo de assentamento, impossibilitando concluir a respeito através da comparação entre as diferenças mostradas por ambos os histogramas. Assim, essa metodologia de avaliação do assentamento através da comparação entre os histogramas deve levar em conta que alguns materiais necessitam mais do que 6 aplicações (ponto de corte adotado neste trabalho) para a estabilização do atrito.

3.2. Ensaio de Alta Temperatura

A Figura (4) apresenta o resultado de atrito e temperatura ao longo do tempo para a etapa de alta temperatura para os materiais A, B e C. Os dados correspondentes ao coeficiente de atrito, representados pelo marcador "x" do gráfico, foram ligados ponto a ponto através de linha contínua para facilitar a visualização do comportamento do atrito no decorrer do ensaio. Sobre essa etapa não é feita nenhuma análise de variabilidade, já que a mesma tem por objetivo unicamente submeter o material a uma elevada temperatura, no caso 380°C, em um tempo pré-definido, de 360s.

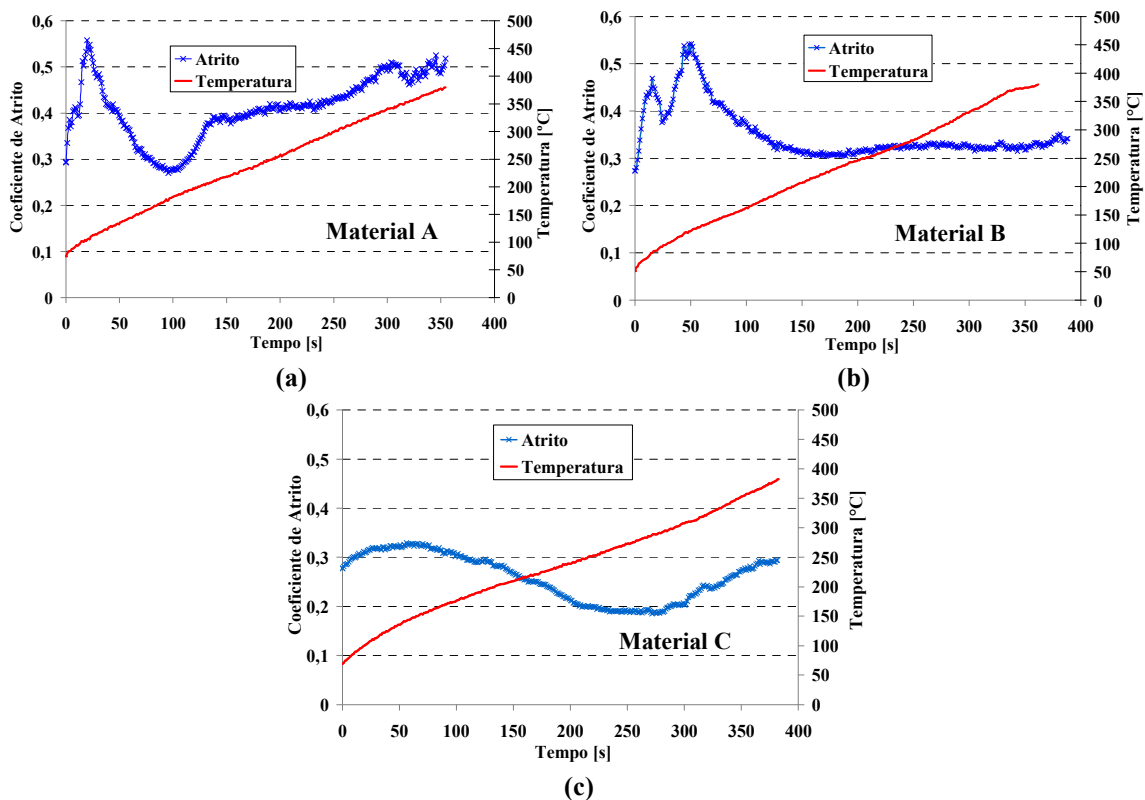


Figura 4. Curvas do coeficiente de atrito e temperatura para o ensaio de alta temperatura, onde (a), (b) e (c) correspondem aos resultados dos materiais A, B e C, respectivamente.

3.3. Segunda Caracterização

Os resultados da segunda caracterização são apresentados na Fig. (5), onde em (a), (c) e (e) são mostradas, respectivamente, as curvas de atrito ao longo do tempo de algumas frenagens para os materiais A, B e C enquanto em (b), (d) e (f) são mostradas as curvas do coeficiente de atrito médio com respeito àqueles materiais, respectivamente. Para padronização das avaliações, durante a segunda caracterização também foi adotado o ponto de corte depois da sexta frenagem (linha vermelha tracejada em (b), (d) e (f)).

Note através da Fig. (5-a) que, nesta etapa ocorreu fenômeno semelhante à etapa da primeira caracterização para este material (material A), onde que a 1ª curva de frenagem ao longo do tempo também se desenvolve com um atrito mais baixo enquanto as demais (aplicações 10, 20, 30 e 40) tendem a apresentar maior grau de semelhança entre si.

Porém, como aqui esse efeito ocorre imediatamente após o material ser submetido a altas temperaturas, esse processo transitório deve ser entendido, tecnicamente falando, como o fenômeno de recuperação do atrito, não devendo confundir-lo com o processo de assentamento. A Figura (5-b) facilita a visualização do referido fenômeno.

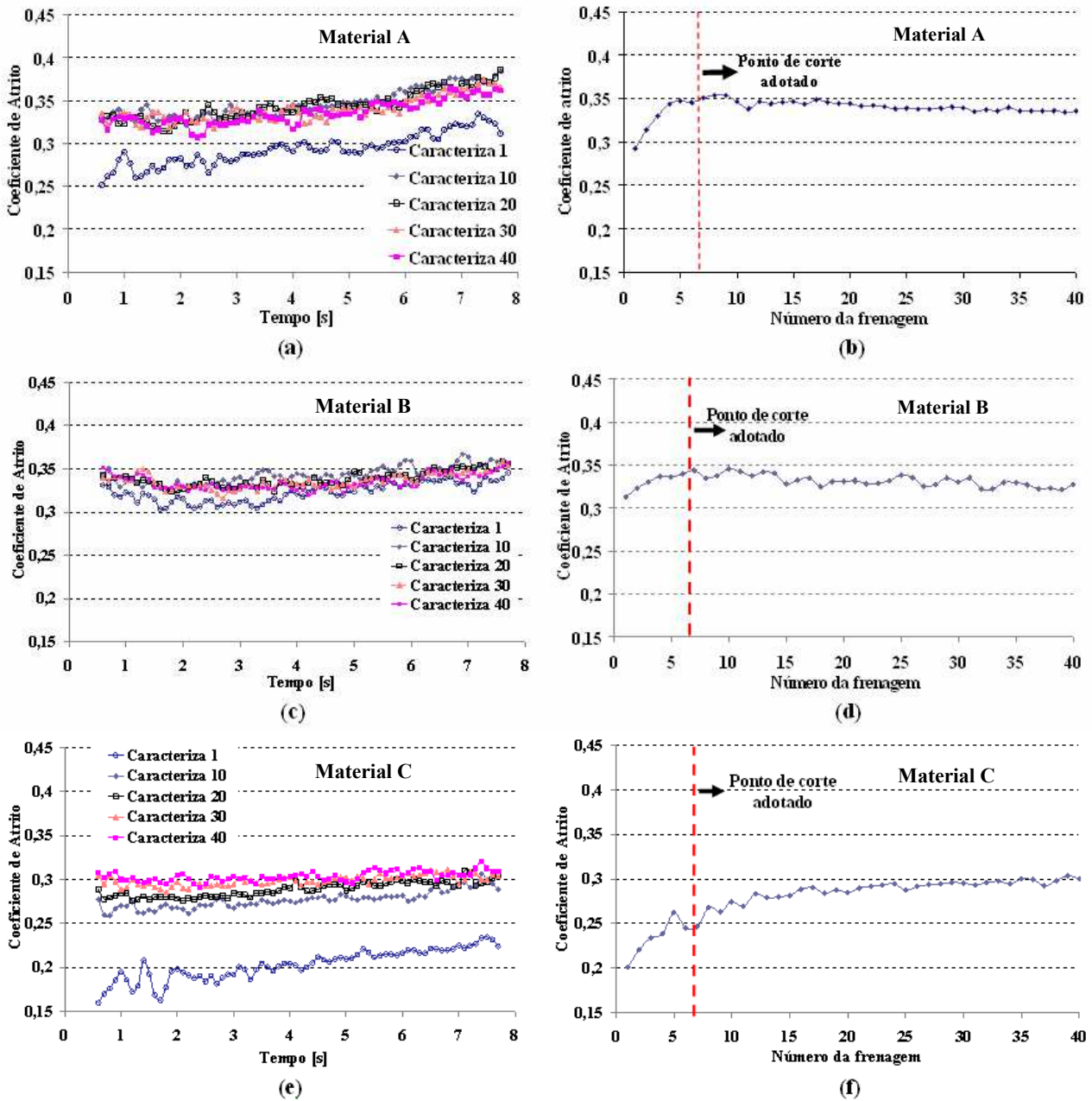


Figura 5. Resultados da etapa de segunda caracterização, onde em (a), (c) e (e) tem-se algumas curvas de atrito ao longo do tempo para os materiais A, B e C, respectivamente, e em (b), (d) e (f) a média do coeficiente de atrito para cada frenagem aplicada, referente àqueles materiais, respectivamente.

Os resultados da Fig. (5-c) mostram que, durante a etapa de segunda caracterização do material B, as curvas de atrito ao longo do tempo parecem apresentar um relativamente maior grau de semelhança entre si quando comparadas com as curvas apresentadas durante a primeira caracterização para o mesmo material, ou até mesmo com os demais materiais. Esse efeito pode ser melhor verificado na Fig. (5-d), onde que o aumento do atrito devido ao efeito de assentamento é relativamente mais suave. Note ainda que, diferente do que ocorreu na primeira caracterização para este material (B), nesta etapa não aconteceu nenhuma diminuição brusca do atrito ao longo das aplicações das frenagens.

Os resultados da segunda caracterização para o material C, apresentados na Fig. (5-e), mostram que durante essa etapa a curva correspondente a 1ª aplicação está relativamente mais distante das demais quando se compara com os resultados dos demais materiais para esta mesma etapa. Isso significa que a amplitude de atrito é maior neste caso, o que aumenta a variabilidade. Esse efeito pode ser melhor compreendido na Fig. (5-f). Note que, da mesma forma que ocorreu durante o processo de assentamento para este material, o processo de recuperação também se mostrou relativamente mais longo para este material do que para os demais.

A Figura (6) apresenta os histogramas do atrito médio da etapa de segunda caracterização, avaliado sobre todas as 40 aplicações de frenagem em (a), (c) e (e) e também com relação às frenagens depois do ponto de corte (aplicações de número 7 a 40) em (b), (d) e (f), correspondentes aos materiais A, B e C, respectivamente.

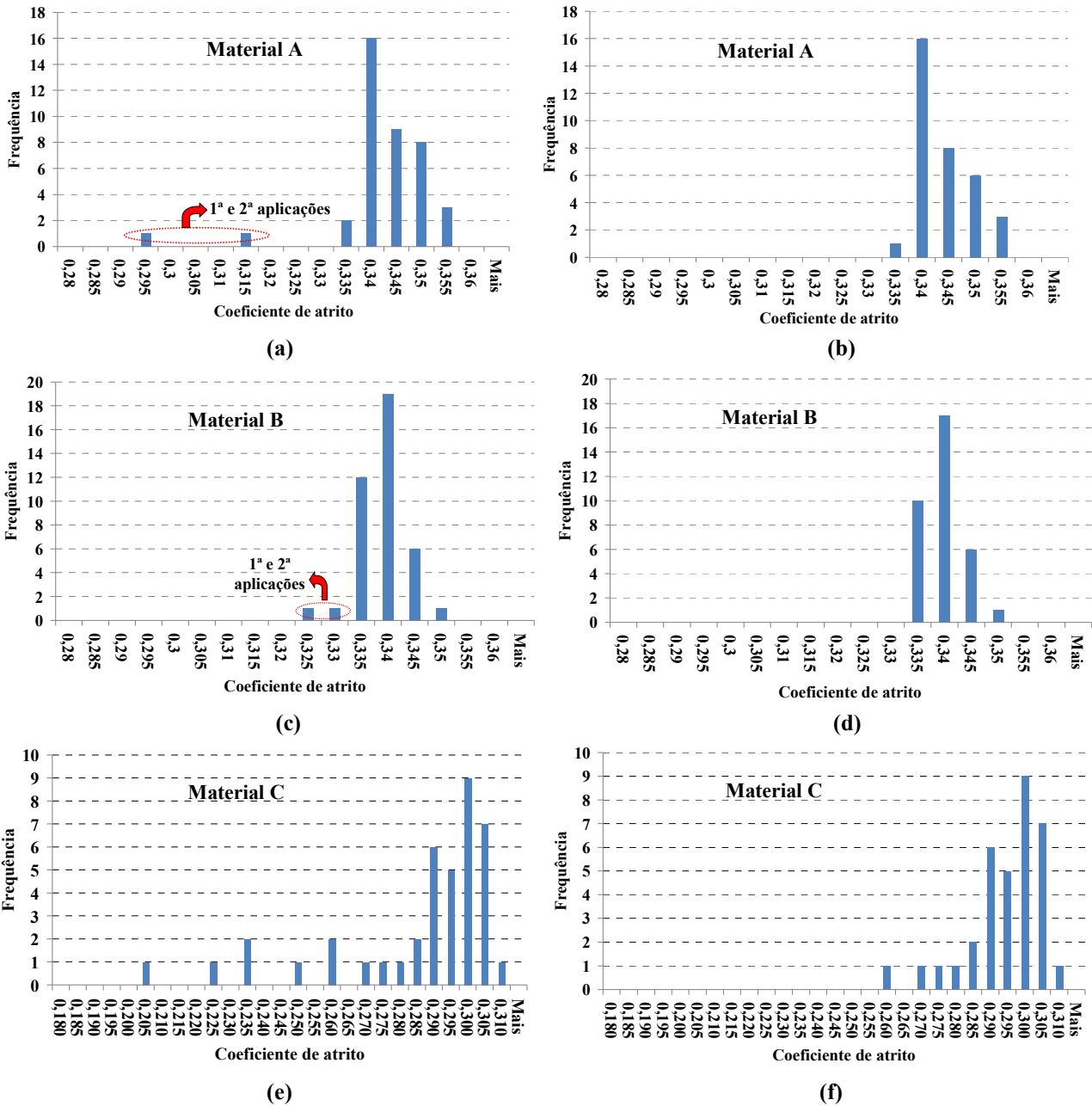


Figura 6. Histogramas do atrito médio para a segunda caracterização, onde em (a), (c) e (e) avaliado sobre todas as 40 aplicações e em (b), (d) e (f) sem as 6 primeiras aplicações para os materiais A, B e C, respectivamente.

Note que o histograma da Fig. (6-a), correspondente ao material A, mostra uma região (círculo vermelho do gráfico) com valores de atrito que são relativamente mais baixos (frenagens 1 e 2), não aparecendo na avaliação mostrada na Fig. (6-b) e que, de acordo com a metodologia de comparação dos histogramas que foi adotada, provavelmente são devido ao efeito do processo de recuperação do atrito.

O histograma da Fig. (6-c), correspondente ao material B, também mostra uma região (círculo vermelho do gráfico) com valores de atrito que relativamente mais baixos sobre as duas primeiras aplicações de frenagem, os quais não aparecem na avaliação mostrada na Fig. (6-d) e que, por isso, são devido ao processo de recuperação do atrito.

Repare que a Fig. (6-e) e a Fig (6-f), que mostram os resultados do material C, não fazem nenhuma menção às frenagens de menor atrito. Nesta etapa vale a mesma analogia discutida anteriormente para fenômeno semelhante ocorrido com este material durante o assentamento, ou seja, a metodologia de comparação das diferenças existentes entre os histogramas de todas as aplicações (Fig. (6-e)) com àqueles sem as 6 primeiras (Fig. (6-f)) não pode ser aplicada para este material considerando o ponto de corte a partir da sexta aplicação.

3.4. Resultados de Variabilidade

A Tabela 2 mostra os resultados de atrito médio e variabilidade, em termos de 1 desvio padrão, para as etapas de primeira e de segunda caracterização para os 3 materiais.

Tabela 2. Resultados de atrito médio e variabilidade para os ensaios de primeira e segunda caracterização.

Material A	Ensaio de Caracterização 1	Coefficiente de atrito médio	Variabilidade (1 desvio padrão)
	Todas frenagens	0,310	0,018
	Sem 6 primeiras	0,317	0,008
	Ensaio de Caracterização 2	Coefficiente de atrito médio	Variabilidade (1 desvio padrão)
	Todas frenagens	0,340	0,010
	Sem 6 primeiras	0,341	0,005
Material B	Ensaio de Caracterização 1	Coefficiente de atrito médio	Variabilidade (1 desvio padrão)
	Todas frenagens	0,293	0,024
	Sem 6 primeiras	0,297	0,008
	Ensaio de Caracterização 2	Coefficiente de atrito médio	Variabilidade (1 desvio padrão)
	Todas frenagens	0,337	0,009
	Sem 6 primeiras	0,338	0,004
Material C	Ensaio de Caracterização 1	Coefficiente de atrito médio	Variabilidade (1 desvio padrão)
	Todas frenagens	0,240	0,035
	Sem 6 primeiras	0,247	0,011
	Ensaio de Caracterização 2	Coefficiente de atrito médio	Variabilidade (1 desvio padrão)
	Todas frenagens	0,280	0,048
	Sem 6 primeiras	0,292	0,011

Observando a Tab. 2, percebe-se que o coeficiente de atrito médio de cada etapa apresenta uma diferença relativamente pequena entre seus valores durante as duas avaliações realizadas (sobre todas as frenagens e sem as 6 primeiras aplicações) para um dado material. Porém, a variabilidade apresenta uma mudança relativamente grande para essa mesma análise, sendo que em todos os casos ela diminui de magnitude durante na situação avaliada sem as 6 primeiras aplicações. Isso mostra que realmente correm processos transitórios do atrito, tais como assentamento e recuperação, durante as primeiras aplicações, cuja consequência é aumentar a variabilidade. Repare ainda que os valores de atrito médio mostram um aumento relativo durante a etapa de segunda caracterização para todos os materiais quando comparados com os valores da primeira caracterização. Supõe-se que isso seja um devido a algum efeito de transformação química sofrida pelo material durante o ensaio de alta temperatura, já que a segunda caracterização ocorre logo após esse ensaio. Note também que a variabilidade do atrito diminui na etapa de segunda caracterização para os materiais A e B, enquanto o material C teve um relativo aumento da variabilidade nesta etapa.

4. CONCLUSÕES

O gráfico do coeficiente de atrito médio a cada aplicação é mais adequado para verificar o comportamento do atrito do que o gráfico do atrito ao longo do tempo, principalmente se o número de frenagens for grande (40, por exemplo).

A metodologia de determinação dos fenômenos de assentamento e recuperação através da comparação entre os histogramas de atrito de todas as aplicações com os histogramas avaliados a partir de uma dada frenagem (no caso do trabalho a partir da 7ª aplicação) mostrou-se adequada, desde que o ponto de corte usado para separar a parte transitória do atrito seja avaliado corretamente. No caso deste trabalho, a referida metodologia pôde ser aplicada com sucesso sobre os materiais A e B, os quais tiveram o término do processo transitório de aumento do atrito em uma frenagem anterior ao ponto de corte adotado para os histogramas. Já para o material C, cuja estabilização do atrito ocorreu depois do ponto de corte adotado (após a 6ª aplicação), o método de comparação dos histogramas não pôde ser aplicado.

A metodologia apresentada pode ser útil para avaliar e separar os efeitos transitórios e, desta forma, conferir maior precisão para o cálculo da dispersão do atrito devido apenas a variabilidade inerente ao material.

5. REFERÊNCIAS

- AK-Master Standard, In Brake German Procedures, Alemanha, Ak-Master de dezembro de 1998.
- Arrieche, F.E.; “Comparação térmica de frenagens realizadas em um tribômetro e em um dinamômetro inercial visando contribuir para a correlação dos resultados de atrito”. 2009. 17 folhas. Monografia, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Bijwe, J., Kumar, M., Gurunath, P. V., Desplanques, Y., Degallaix, G., 2008. “Optimization of Brass Content for Best Combination of Tribo-performance and Thermal Conductivity of Non-Asbestos (NAO) Friction Composites”, *Wear*, v. 265, p. 699-712.
- Cristol-Bulthé, A.L.; Desplanques, Y.; Degallaix, G.; Berhier, Y.; 2008. “Mechanical and chemical investigation of the temperature influence on the tribological mechanisms occurring in OMC/cast iron friction contact”, *Wear* 264
- Eriksson M., Jacobson S., 2000. “Tribological Surfaces of Organic Brake Pads”, *Tribol. Int.* 33, p. 817-827.
- Infantini, M. B., 2008. “Variáveis de Desempenho dos Sistemas de Freio”, Dissertação, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF THE DISPERSION OF COEFFICIENT OF FRICTION IN BRAKINGS PERFORMED ON A TRIBOMETER WITH FRICTION MATERIAL

Patric Daniel Neis, engmecpatric@yahoo.com.br
Ney Francisco Ferreira, neyferr@gmail.com
Flávio José Lorini, lorini@ufrgs.br
Jonas Fantin Giacomelli, jonasjfg@yahooo.com.br

CON10-0120

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Sarmiento Leite, 425 – 90050-170 – Porto Alegre – RS - Brasil

Abstract. *The paper aims to contribute to the study related to the variability in the results of the coefficient of friction in friction materials performed on a tribometer, which was designed by the staff of the Laboratory of GPFAI (Group Projects, Manufacturing and Industrial Automation) of Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). We analyzed the data of braking tests carried out on 3 samples with different formulations (A, B and C). We applied 3 different stages during the tests (first characterization, high temperature test and second characterization), based on the German standard called Ak-Master. The analysis of the friction curves show a set of transient processes may occur during a braking sequence, such as bedding-in and friction recovery, making the analysis of variability a hard thing to do. However, by comparing the histograms of all the friction braking with those without the first applications (the number of braking to be reduced depends on the evaluated material) can separate these transients' effects through difference between the two graphs and, thus, give greater precision to the friction dispersion calculation that is due only to variability inherent to the material.*

Keywords: *brakes, friction materials, variability, tribometer.*