

ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE DISCO DE FREIO PARA VEÍCULOS DE PASSEIO ATRAVÉS DO PROCESSO DE USINAGEM

Allan Sadao Kikuchi¹

Adriana Giseli Leite Carvalho²

RESUMO

Este estudo apresenta uma técnica utilizada para a recuperação de disco de freio de veículos modelo passeio através do processo de usinagem. Baseando-se em análises de propriedades importantes que envolvem a usinagem do componente, bem como a eficiência do sistema de frenagem e conseqüentemente a segurança do mesmo, tem-se por objetivo a verificação do dimensionamento do disco de freio antes e após o processo recuperação. A metodologia utilizada testes práticos e pesquisas bibliográficas concentradas em sistema de freio a disco e todos os processos de fabricação. Como resultado identificou-se que os dados obtidos nas análises do disco recuperado chegaram bem próximos aos do disco novo (sem uso) e que alguns fatores podem influenciar em um possível desgaste prematuro das pastilhas, mas que não irá interferir na efetividade de seu funcionamento. Com isso verifica-se que é possível realizar esse procedimento de recuperação, e que em muitos casos é bastante viável, pelo seu custo ser bem mais baixo comparado com a substituição por um componente novo.

Palavras-chave: Sistema de freio. Processo de usinagem. Recuperação. Disco de freio.

ANALYSIS OF BRAKE DISK RECOVERY FOR VEHICLES WALKING THROUGH THE MACHINING PROCESS

ABSTRACT

This study presents a technique used for the recovery of brake discs from passenger vehicles through the machining process. Based on analysis of important properties that involve the machining of the component, as well as the efficiency of the braking system and, consequently, its safety, the objective is to verify the dimensioning of the brake disc before and after the recovery process. The methodology used practical tests and bibliographic research concentrated on the disc brake system and all manufacturing

¹ Discente do curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. allan_kikuchi@hotmail.com

² Docente dos cursos de Engenharias e Tecnologias da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina, adriana.carvalho@sistemafiep.org.br

processes. As a result, it was identified that the data obtained in the analysis of the recovered disc came very close to that of the new disc (unused) and that some factors may influence a possible premature wear of the inserts, but that will not interfere with the effectiveness of its operation. Thus, it appears that it is possible to carry out this recovery procedure, and that in many cases it is quite feasible, because its cost is much lower compared to the replacement with a new component.

Key words: Brake system. Machining process. Recovery. Brake Disc.

1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é uma das cadeias produtivas que tem maior produção em escala internacional, o Brasil obteve um grande crescimento no setor, isso devido a sua competência tecnológica e pelo seu potencial de mercado. Porém, indústrias chinesas, coreana e europeia ainda são um grande desafio, em busca de competitividade, estratégias e ações de melhorias tecnológicas e de mão de obra qualificada torna-se uma prioridade.

É possível perceber o custo elevado da manutenção de veículos, desde a substituição de peças em muitos casos necessária e recomendada pelos fabricantes, até em alguns casos específicos em que ocorre a restauração do elemento. Nos dias atuais em que a aquisição financeira de um modo geral está baixa, muitos optam por restaurar o componente, visto que este tipo de serviço apresenta um custo mais baixo comparado a troca por um componente novo.

Recuperar um componente envolve algumas etapas de fabricação, e um dos componentes do automóvel de grande importância – disco de freio, é passível desse procedimento. Fatores como os materiais de atrito, variações de temperaturas e agentes externos, o disco de freio perde suas propriedades de fabricação, que é restaurada através de sua usinagem pelo processo de torneamento.

A utilização do sistema de freios, veio através do conceito de que, tudo o que se move tem que parar. São dispositivos que foram desenvolvidos, para manter o controle do movimento de rotação de um equipamento, uma máquina ou de uma roda de um veículo, fazendo com que diminua ou mesmo pare esse movimento, como também pode impedir que esse movimento seja iniciado novamente. Os freios efetuam esse controle através da

transformação da energia cinética, imprimida através do movimento do veículo em energia térmica, que é dissipada na forma de calor.

Entre outras, essa necessidade de dissipar o calor, faz com que o sistema de freio a disco, seja o mais utilizado atualmente, tanto em carros, caminhões e locomotivas, como também em aviões. Isso devido a suas características de engenharia e propriedades dos materiais empregadas, que lhes permitem a eficiência do sistema.

O sistema de freios consiste em um dispositivo hidráulico, que é acionado pelo pedal de freio do veículo, fazendo com que os materiais de atrito, disco e pastilha, tambor e lona, entrem em contato causando a fricção entre eles, através de uma pressão na linha de frenagem promovida pelo sistema hidráulico. Tem como objetivo diminuir a velocidade do veículo, parar ou mantê-lo parado. No caso dos sistemas de freios, entende-se que estes são itens classificados como de segurança, e que devem passar por uma avaliação minuciosa para que possa ser realizada a recuperação no disco de freio, seguindo limites de espessura mínima para que o mesmo seja efetuado.

Fabricantes não recomendam o uso da recuperação do disco e sim fazer a substituição do conjunto, entretanto em muitos casos se faz apenas a troca de pastilha e a recuperação do disco de freio por meio do torneamento, para retirar ondulações, empenamentos, ranhuras ou trincas, deixa-lo novamente alinhado para que haja uma maior área de contato entre os componentes ocasionando uma boa frenagem.

Nota-se o preconceito da utilização de uma peça recondicionada efetuando o trabalho que deveria ser feito por um componente sem uso, o qual seria substituído no conjunto. Nos casos de discos de freios, uma análise pode dar a real informação de como atuaria uma peça recondicionada na utilização em veículos, evitando assim a reposição por uma peça nova. Arelado a uma maximização da vida útil do elemento, verifica-se a minimização de peças para descarte, o que impacta diretamente em menos energia para fundição de peças sucateadas.

Sabendo-se que por se tratar de um item de segurança e fazer parte de um conjunto, disco e pastilha de freio que atuam juntos, mas que tem um desgaste diferente um do outro, é importante refletir sobre vários aspectos que envolve uma peça recondicionada, tais como: quais as variações das propriedades de um componente recuperado por meio do processo de usinagem? Os parâmetros de rugosidade, dureza e

empenamento chegariam próximos dos parâmetros de um componente novo? No caso do disco de freio de um veículo de passeio, depois de recuperado continuaria atendendo a padrões de segurança, como de espessura mínima?

O presente estudo terá como base de seu recorte de pesquisa, a análise de recuperação de disco de freio para veículos de passeio através do processo de usinagem, verificando o dimensionamento do disco antes e após o processo, assim como a sua rugosidade, empenamento, dureza e trincas superficiais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMA DE FREIO

Segundo Silveira (2010), o sistema de freios é uma das partes vitais e mais importantes de um veículo, desse modo ele é projetado para se obter o máximo de rendimento e que exija o mínimo de manutenção. Com o dimensionamento correto, ajustado e conservado, irá garantir uma frenagem segura ao motorista nas mais diversas condições de tráfego, se deparando com uma emergência ou mesmo para obedecer um sinal de trânsito. Deve estar capacitado para que o veículo pare com a menor distância possível em qualquer circunstância de uso, seja ela a velocidade exercida, tipo de pista ou piso, também deve ser extremamente confiável, por se tratar de um componente de segurança fundamental não pode ser prejudicado por elementos externos como a variação de temperatura, água e poeira. Seu rendimento deve se manter alto mesmo com o desgaste de seus componentes e ter o mínimo de regulagens e manutenções.

De acordo com Brezolin (2007), em virtude de sua influência direta na segurança veicular, o sistema de freio possui uma grande importância em qualquer veículo, o que o torna no projeto um item crítico. Entre algumas formas de energia, os sistemas de freio são dispositivos que convertem energia cinética em energia térmica, e sua quantidade é proporcional ao movimento exercido pelo veículo. O propósito dos sistemas de freio na prática é manter o veículo parado, reduzir sua velocidade ou se manter em uma determinada velocidade, conforme a situação em que o veículo irá impor sua necessidade. Segundo Casaril (2013), o fenômeno de frenagem do veículo se dá através do contato

entre a pastilha, fixa à estrutura do carro, e o disco, que gira com a roda do veículo. Quando o pedal de freio é acionado, gerando pressão no sistema hidráulico ou pneumático do veículo, a pastilha é pressionada contra o disco. Essa interface tem um nível de atrito elevado, provocando um torque de frenagem contrário ao movimento do veículo, fazendo com que o mesmo diminua sua velocidade ou aceleração.

Segundo o manual Nakata para sistema de freios, o sistema de frenagem utilizando disco é o sistema mais utilizado nos dias atuais, além de automóveis e motocicletas, podemos ainda encontrar esse sistema em aviões e locomotivas. Outro sistema é o de freio a tambor, que por ter um menor desempenho é utilizado nas rodas traseiras de veículos leves, visto que a necessidade de uma melhor frenagem se encontra nas rodas dianteiras e também pelo seu baixo custo comparado ao sistema de disco e pastilha. Além de se tratar de um item de segurança o sistema de freio é de alta importância e deve se ter bastante cuidado e atenção no projeto do veículo, tem como objetivo diminuir a velocidade, parar ou manter o veículo parado.

2.2 DISCO

Segundo Alves (2015), o disco é fixado a uma roda que é presa a um eixo, de modo que sua velocidade angular é igual a deste elemento rotativo, uma força de resistência ao movimento surge quando ocorre o contato com as pastilhas, a força de atrito. A força de atrito gerada pelo contato da pastilha com o disco cria um torque contrário ao sentido de rotação. Este torque é sentido por todo eixo rotativo onde o disco está acoplado, diminuindo sua velocidade, e consequentemente do veículo. Esses elementos podem ter geometrias e tamanhos diferentes, suprimindo a necessidade de cada projeto, rasgos e furos podem ser feitos para promover a descontaminação do mesmo durante seu uso, como também geometrias para auxiliar a dissipação de calor para o ambiente.

Os discos de freio podem ser fabricados de metais, como liga de aço, ferro fundido e também de materiais compósitos e cerâmicos, se leva em conta a escolha deste material por diversos fatores, como o seu custo, peso, dissipação de calor entre outros. De acordo com Eriksson (2002), em veículos que não demandam tanto do sistema de frenagem, é mais comumente feito em ferro fundido, por apresentar ótimas propriedades para

dissipação térmica, resistência mecânica suficiente, satisfatória resistência ao desgaste, fácil fabricação em grande escala e preço acessível.

Figura1-Disco de freio

Atualmente o disco de freio feito de ferro fundido cinzento é o mais utilizado nos veículos, por atender todos os requisitos necessários para uma para que se obtenha uma alta eficiência e que conseqüentemente irá aumentar a segurança nos sistemas de frenagens veiculares.

2.3 PASTILHA

De acordo com Alves (2015), as pastilhas de freio são projetadas para se obter uma elevada fricção no contato com os discos, para que transforme de forma rápida a energia cinética em energia térmica, se a taxa de transformação for alta a eficiência deste sistema de freio também será. Atualmente as pastilhas são feitas de aço, cerâmica, vidro picado, fibras minerais, aramida, celulose, dentre outros. Sua escolha deve levar em conta a longevidade do material, níveis de ruído e seu poder de fricção, necessitam ser a prova d água, sua eficiência de frenagem não pode ser afetada de forma considerável quando submetidas a condições em que a água esteja presente, esse é um fator de grande importância, sendo que os veículos que as utilizam estão sujeitas as mais diversas condições de uso. Segundo Eriksson (2002), o processo de fabricação é geralmente a compactação a quente, e são utilizados de 10 a 20 componentes diferentes, o quadro 01 demonstra quais são estes componentes.

Quadro 1-Componentes e suas funções

Componente	Função
Aglutinante	Seu papel é manter a estrutura unida formando uma matriz termicamente estável. Geralmente são usadas resinas fenólicas termofixas. A adição de borracha permite um maior umedecimento da matriz
Materiais estruturais	São responsáveis pela resistência mecânica. São usados carbono, aramida (Kevlar®), metais, vidro picado
Enchimento	Traz uma facilidade para a confecção das pastilhas e preenche o espaço sem altos custos. Mica, vermiculita ou sulfato de bário são usados como enchimento

Aditivos para fricção	Alguns materiais são adicionados para aumentar o coeficiente de atrito entre as superfícies da pastilha e do disco, como por exemplo, partículas abrasivas (silício e alumínio). Lubrificantes sólidos como o grafite são utilizados para promover uma estabilidade do coeficiente de atrito em elevadas temperaturas de operação. O silício adicionado para aumentar o coeficiente de atrito ainda promove uma superfície de contato mais aderente, removendo óxidos e outros filmes da superfície do disco.
-----------------------	---

Fonte: Eriksson (2002)

Cada material empregado na fabricação de pastilhas de freio, tem por função garantir a boa eficiência do componente no sistema.

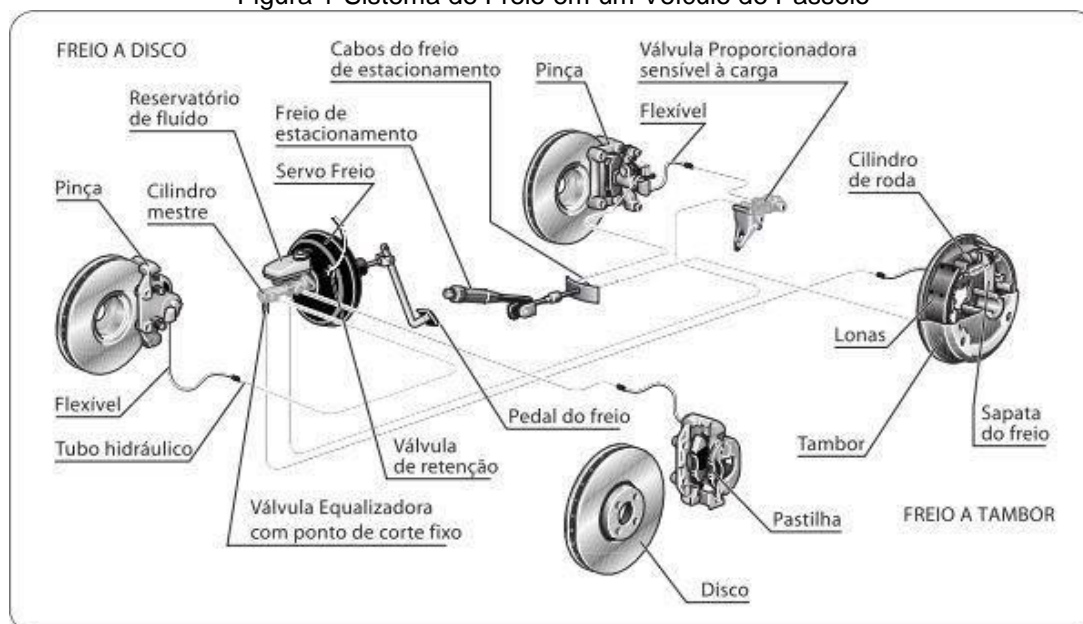
2.4 SISTEMA DE FREIO A DISCO

Segundo Macnaughton (1998) o sistema de freio utilizado em veículos nos dias atuais começou a ser usado em 1951, na corrida das 500 milhas de Indianapolis, nos EUA, pelos irmãos Conze. Com o passar do tempo e com o surgimento de novas tecnologias esse sistema vem sendo aprimorado, e devido a essa evolução freios mais confiáveis e eficazes são encontrados nos carros atualmente.

O manual Nakata para sistemas de freio diz que o freio a disco é o sistema mais utilizado atualmente. Além de automóveis e caminhões, podemos encontra-lo também em aviões e locomotivas. De acordo com Orthwein (2004) o aço inoxidável, ferro fundido cinzento e o aço – carbono estão entre os materiais que são mais utilizados para a fabricação de discos de freio. Novos tipos de materiais estão sendo usados na indústria automotiva, em evidencia estão os discos fabricados em alumínio, cerâmica e o carbono, que atendem a solicitações de automóveis de alto desempenho.

Abaixo, a Figura 1 irá mostrar o sistema de freio de um veículo modelo passeio de uma forma geral, onde está representado o sistema de freio a tambor nas rodas traseiras, que não é o foco deste trabalho. E temos o sistema de freio a disco nas rodas dianteiras.

Figura 1-Sistema de Freio em um Veículo de Passeio



Fonte: Nakata

O freio a disco consiste basicamente do contato das pastilhas no disco, as pastilhas são pressionadas contra o disco por um embolo que está ligado a pinça de freio, que é acionada por um sistema hidráulico que está associado diretamente ao pedal de freio, já o disco é aparafusado no cubo da roda e a roda fixada ao disco. O sistema conhecido como misto é composto por freio a disco nas rodas dianteiras e freio a tambor nas rodas traseiras, este conjunto é o mais comumente utilizado nos veículos de passeio. Também existem os veículos que são fabricados com freio a disco nas quatro rodas e isso está ligado diretamente a potência de cada veículo.

Usualmente falando percebe-se que a troca se dá em média de dois em alguns casos até três jogos de pastilhas a cada troca de disco de freio, por isso este método de usinagem nesse componente é muito utilizado nas oficinas mecânicas. Mais não somente por isso é feito esse procedimento, em muitos casos discos com pouco uso e ainda considerados novos sofrem eventuais avarias como empenamento, por exemplo, seria uma delas, em que o mesmo apresenta ondulações não proporcionando uma boa área de contato entre o conjunto e conseqüentemente o sistema de frenagem com baixo rendimento e também ocasionando vibrações no pedal de freio.

2.5 FERRO FUNDIDO CINZENTO

De acordo com Hect et al (1996), atualmente o ferro fundido cinzento perlítico com grafita lamelar é o material mais tradicional, assim como o mais utilizado para fabricação de discos e tambores de freio para veículos. Sua principal vantagem é a alta condutividade térmica, afirmada pela estrutura continuada da grafita, dissipando calor com eficácia. Os materiais indicados para a produção de discos de freio são os ferros fundidos, porque além de ter uma produção de baixo custo, possuem uma condutividade térmica excelente, o que ajuda a dissipar o calor gerado durante a frenagem que é proveniente da fricção da pastilha com o disco de freio, e a capacidade de absorver vibrações, características essenciais para este tipo de componente.

Segundo Serbino (2005), o ferro fundido cinzento é um dos materiais que possui melhores características de fundição e apresenta uma das menores temperaturas de fusão dentre as ligas ferrosas. Sua contratura na passagem líquida para sólido é pequena, beneficiando a aquisição de peças sem defeitos internos. Para grande parte das aplicações pode ser utilizado no estado bruto de solidificação. Vários materiais seriam capazes de atender a solicitação. Mas por manter melhor estabilidade de comportamento, facilidade produtiva e custo de matéria prima relativamente baixo quando comparado aos outros, faz com que o ferro fundido seja um material muito utilizado na fabricação de freios veiculares.

2.6 PRINCIPAIS PROBLEMAS EM DISCO DE FREIO

De acordo com Lombriller (2002), o uso contínuo dos veículos resultam em tensões cíclicas, que podem ocasionar fadiga, alastrando-se trincas no disco de freio, que poderá resultar na quebra do mesmo. Segundo Maluf (2007), diversos componentes utilizados em sistemas de freio de veículos automotivos, como os discos, estão sujeitos a alterações de temperatura durante seu uso. O gradiente térmico induzido nas várias regiões da peça durante a frenagem pode fazer com que ocorra tensões internas, e a repetição destes ciclos térmicos pode ocasionar a nucleação e a propagação de trincas por fadiga.

Baseado nas ideias de Brezolin (2007), a geração de trincas térmicas está ligada diretamente à característica estrutural de rigidez dos materiais de atrito que, adicionada a deformações e fluxos de calor não uniformes dos discos de freio, fazem com que as trincas térmicas apareçam na superfície de atrito dos discos de freio de veículos comerciais. As trincas superficiais são decorrentes do atrito entre materiais com estrutura rígida que ocasionam uma alta temperatura, e por haver deformações nos elementos, esse fluxo de calor se encontra de maneira variada, onde nas partes com uma superfície de contato maior a temperatura gerada é mais alta e essa não uniformidade irá favorecer no aparecimento de trincas nos discos de freio.

3 METODOLOGIA

Será analisado neste trabalho a rugosidade, dureza, empenamento e as trincas superficiais, bem como espessura mínima dentro dos limites de segurança. Sendo observado quais as variações de propriedades de uma peça recondicionada no caso um disco de freio que será recuperado pelo processo de usinagem. Utilizará para este fim, fundamentos práticos e teóricos bibliográficos nas áreas de materiais, projetos, processo de usinagem e frenagem automotiva leve. Analisando as variações das propriedades do disco de freio de um veículo de passeio após sua recuperação por meio de processo de usinagem, visto que tanto suas propriedades quanto os seus parâmetros irão indicar a viabilidade do processo, sendo que os dados obtidos devem chegar próximos aos dados do componente sem uso (novo), assim como não ultrapassar o limite de espessura.

3.1 Coleta de dados

Foi realizado a coleta de dados sobre o disco de freio sem uso onde foi identificado que o mesmo se trata de um disco de ferro fundido cinzento, do tipo ventilado, com limite de espessura de 16mm, do fabricante Volkswagen Gol 1.0 ano 2012, assim como o disco usado antes e após a recuperação, ambos com as mesmas especificações, na figura 2 (a)

observa-se um disco de freio novo, na figura 2 (b) disco de freio usado e na figura 2 (c) disco de freio recuperado.

Figura 2 (a): Disco de freio novo



Figura 2 (b): Disco de freio usado



Figura 2 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

O disco apresenta diferentes aspectos visuais, sendo o recuperado com o aspecto visualmente bem próximo ao do componente novo e o usado diferente de ambos.

3.2 Equipamentos

3.2.1 Micrômetro

Para medir as espessuras dos discos foi utilizado um micrômetro externo digital da marca digimes com capacidade de 0-25mm e resolução de 0,001mm como mostra a figura 3.

Figura 3-Micrômetro digital



Fonte: Autor

O micrômetro é um instrumento que possibilita medições rigorosas e exatas, o modelo digital é próprio para controle estatístico de processos, pois permite se realizar uma leitura rápida sem erros de paralaxe.

3.2.2 Relógio comparador

Na medição de empenamento dos discos de freio foi utilizado um relógio comparador da marca ZAAS com capacidade de 0-10mm e resolução de 0,01mm (figura 4).

Figura 4-Relógio comparador



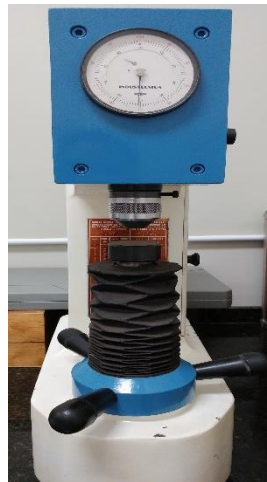
Fonte: Do autor

O relógio comparador é um instrumento de medição por comparação, equipado com uma escala e um ponteiro, interligados por diversos mecanismos a uma ponta de contato. Quando o ponta de contato sofre uma pressão e o ponteiro gira em sentido horário, sua diferença é positiva, significa que a peça apresenta maior dimensão que a estabelecida. Se o ponteiro girar em sentido anti-horário, a diferença será negativa, ou seja, a peça apresenta menor dimensão que a estabelecida.

3.2.3 Durômetro

A análise de dureza foi realizado em um medidor de dureza da marca indústécnica modelo de bancada com leitura analógica para ensaios de dureza rockwell normal, superficial e a brinell, seguindo a norma NBRNM187 (05/1999) Materiais metálicos - Dureza Brinell - Parte 1: Medição da dureza Brinell - Parte 2: Calibração de máquinas de medir dureza Brinell - Parte 3: Calibração de blocos padrão a serem usados na calibração de máquinas de medir dureza Brinell que foi a escala empregada para realização dos testes (figura 5).

Figura 5- Durômetro



Fonte: Do autor

A maioria dos ensaios de dureza estáticos consiste na impressão de uma pequena marca feita na superfície da peça, pela aplicação de pressão, com uma ponta de penetração. É muito utilizado para se obter sua resistência ao desgaste, controle de qualidade de tratamentos térmicos, resistência mecânica através do uso de tabelas de correlação, pesquisa e desenvolvimento de novas ligas e materiais entre outros. É considerado não destrutivo, deixando apenas uma marca que não irá comprometer o uso da peça ou corpo de prova.

3.2.4 Rugosímetro

Para análise de rugosidade o instrumento utilizado foi o rugosímetro surfstest sj-201p da marca mitutoyo com método de medição indutivo diferencial e capacidade de 350 μ m, atendendo a Norma NBR ISO 4287/2002 para especificação da rugosidade (figura 6).

Figura 6-Rugosímetro



Fonte: Do autor

O rugosímetro é um equipamento eletrônico largamente empregado na indústria para conferência de superfície de peças e ferramentas (rugosidade). Garante um alto

parâmetro de qualidade nas medições, sendo destinado à análise dos problemas referentes à rugosidade de superfícies.

3.2.5 Líquido penetrante (LP)

Os produtos para ensaio do líquido penetrante são da marca carbografite, atendendo a norma Petrobras N-1596, procedimento para aplicação e inspeção por líquido penetrante. São utilizados três produtos para o procedimento, o PCG 53 líquido penetrante, RCG S solvente para remoção do excesso e limpeza do líquido penetrante da superfície inspecionada e o PCG 52 revelador que irá absorver o penetrante das descontinuidades revelando-as (Figura 7).

Figura 7-Líquido penetrante e revelador



Fonte: Do autor

O ensaio de líquido penetrante (LP), baseia-se na aplicação de produtos químicos, na superfície do material a ser inspecionado, para identificar microtrincas que são imperceptíveis a olho nu. Esse processo é dividido em três etapas, etapa 1 aplicação do líquido penetrante na área a ser analisada, etapa 2 remoção e limpeza do líquido penetrante e etapa 3 aplicação do revelador.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises e os resultados obtidos no presente estudo.

4.1 Medidas de espessura

Foram realizadas medições de espessura no disco sem uso, usado antes da recuperação e após, em todos foram feitas três medições em pontos diferentes (0°, 120°, 240°), e posteriormente uma média de cada uma delas, na figura 8 (a) mostra a espessura do disco novo, na figura 8 (b) espessura do disco usado e na figura 8 (c) espessura do disco recuperado.

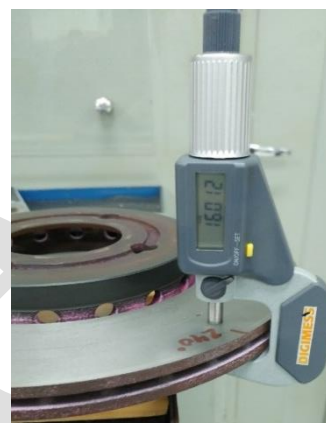
Fig 8 (a): Disco de freio novo



Fig 8 (b): Disco de freio usado



Fig 8 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Autor

Observa-se que a espessura dos discos estão conforme suas especificações e dentro do seu limite mínimo de espessura, conforme demonstrado na tabela 2:

Tabela 2-Medidas de espessura

Ângulo de Posicionamento	Espessura Disco de Freio (mm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	17,949	16,625	16,012
120°	17,956	16,621	16,013
240°	17,947	16,620	16,012
Média	17,950	16,622	16,012

Fonte: Autor

Os dados obtidos nas espessuras dos discos mostram que, o disco novo atende seu padrão de fabricação, o usado é menor devido ao seu uso efetivo de trabalho (km), e percebe-se a diferença de medida do disco usado para o recuperado é pouca, mostrando que sua usinagem de recuperação retira somente as imperfeições do componente.

4.2 Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza também foram realizados no disco novo, usado e recuperado com medições em três pontos diferentes em cada disco, e a média de cada um, conforme mostra a figura 9 (a) dureza do disco novo, figura 9 (b) dureza do disco usado e figura 9 (c) dureza do disco recuperado.

Figura 9 (a): Disco de freio novo



Figura 9 (b): Disco de freio usado



Figura 9 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

No ensaio de dureza mostra que, a dureza do disco usado é menor que a do disco novo, e a dureza do disco recuperado já é semelhante ao do componente novo, os dados obtidos na figura 9 (a), 9 (b) e 9 (c) são apresentados na escala de leitura C, e convertidos para HB Brinell como podemos observar na tabela 3.

Tabela 3-Dureza Brinell HB

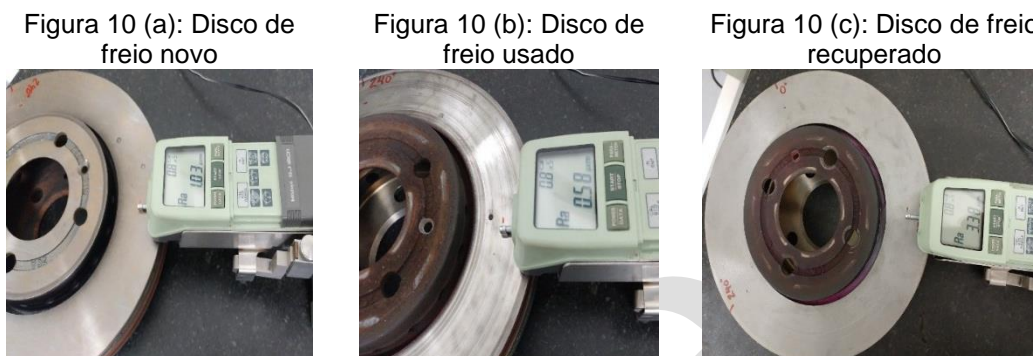
Ângulo de Posicionamento	Dureza Brinell (HB)					
	Novo		Usado		Recuperado	
	(C)	(HB)	(C)	(HB)	(C)	(HB)
0°	50	188	47	178	49	185
120°	47	178	44	169	46	175
240°	49	185	42	163	49	185
Média	49	184	44	169	48	182

Fonte: Do autor

Na dureza do disco usado, mostra-se inferior ao do disco novo, isso devido a suas variações de temperaturas e agentes externos pelo qual são submetidos pelo seu efetivo trabalho, já no disco recuperado observa-se que essa dureza é restaurada, chegando bem próximo a dureza do componente novo.

4.3 Análises da rugosidade

As análises de rugosidade seguiram as mesmas sequencias das etapas anteriores, coforme apresentado na figura 10 (a), figura 10 (b) e figura 10 (c).



Fonte: Do autor

A rugosidade obtida no disco usado mostra-se inferior ao do disco novo, e rugosidade do disco recuperado superior ao novo como se observa na Tabela 4.

Tabela 4-Rugosidade na Superfície do Disco

Ângulo de Posicionamento	Rugosidade (μm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	1,03	0,58	3,44
120°	1,15	0,55	3,38
240°	1,00	0,63	3,18
Média	1,06	0,58	3,33

Fonte: Do autor

No disco usado a rugosidade se apresenta inferior ao disco novo, pois o mesmo apresenta uma espécie de polimento, causado pela fricção entre os materiais de atrito e variações de temperaturas, a superioridade de rugosidade obtida no disco recuperado se da ao fato da maquina e ferramenta utilizada no processo de usinagem, não serem empregadas da mesma tecnologia usada pelo fabricante na confecção do disco novo.

4.4 Empenamento

As medições de empenamento foram feitas diretamente no veículo, com o disco de freio fixado no cubo de roda exercendo seu efetivo trabalho, em três pontos dos disco (superior, médio e inferior) e feito uma media desses valores, observa-se na figura 11 (a) a medição do disco novo, figura 11 (b) do disco usado e figura 11 (c) do disco recuperado.

Figura 11 (a): Disco de freio novo



Figura 11 (b): Disco de freio usado



Figura 11 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

O empenamento do disco usado mostrou-se menor que do disco novo, e do disco recuperado maior que ambos os componentes, como apresentado na tabela 5.

Tabela 5-Medidas de Empenamento

Ângulo de Posicionamento	Empenamento (mm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	0,5	0,3	0,7
120°	0,4	0,2	0,6
240°	0,3	0,2	0,4
Média	0,4	0,2	0,6

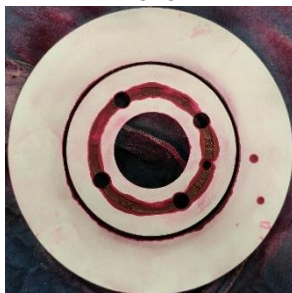
Fonte: Do autor

As diferenças encontradas no empenamento dos discos são mínimas, e todas medidas com um grau de empenamento consideravelmente baixo, não comprometendo a eficiência do sistema.

4.5 Trincas superficiais

A análise de trincas foi realizada em todos os discos, como mostra a figura 12 (a) disco novo, 12 (b) disco usado e figura 12 (c) disco recuperado.

Figura 12 (a): Disco de freio novo

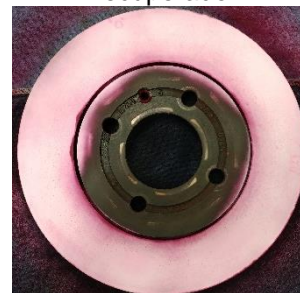


Fonte: Do autor

Figura 12 (b): Disco de freio usado



Figura 12 (c): Disco de freio recuperado



Em nenhum dos discos foi encontrado nenhum tipo de trinca, seja ela no disco novo por algum defeito de fabricação, no disco usado pela rigidez dos materiais de atrito e os fluxos de calor não uniformes, como também não obteve nenhuma trinca na usinagem de recuperação do componente.

4.6 Usinagem de recuperação

A usinagem de recuperação do disco foi realizada em um torno específico para usinagem de disco de freio utilizando ferramentas de metal duro (figura 13).

Figura 13-Torneamento



Fonte: Do autor

Nota-se que na usinagem de recuperação do disco, todos os defeitos aparentes no disco usado, causados pelo seu efetivo trabalho são removidos, recuperando o aspecto de um componente novo. No presente trabalho foram analisados aspectos relevantes para possíveis defeitos em discos de freio, assim como na usinagem dos mesmos, parâmetros que influenciam diretamente no bom funcionamento do sistema de frenagem de veículos leves e conseqüentemente em sua segurança.

Grande parte dos dados obtidos nas análises mostrou que os parâmetros do disco recuperado chegaram próximos ao do componente sem uso. O único dado que se

distanciou mais foi na análise de rugosidade, em que no disco usado antes da recuperação apresentou um nível menor, pelo fato do disco apresentar uma espécie de polimento devido ao contato dos materiais e das temperaturas de trabalho. Quanto ao procedimento de recuperação, o nível da rugosidade foi maior que o do componente novo, devido a ferramenta e a máquina utilizada na usinagem de recuperação, pois as mesmas não possuem a mesma tecnologia usada pelos fabricantes, o que pode vir a causar um possível desgaste prematuro das pastilhas. Outro fator obtido foi que ambos os componentes não apresentaram nenhum tipo de trincas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das pesquisas bibliográficas realizadas afim de maior compreensão do sistema de freios automotivos, e dos fatores que envolvem a usinagem de recuperação, visto que estes são aspectos fundamentais para o bom funcionamento do sistema de frenagem, foram realizadas análises, e essas mostraram que os parâmetros do disco usado após passar pelo processo de recuperação, chegaram bem próximos aos do disco sem uso. Concluindo que é possível realizar esse procedimento, pois não terá suas propriedades afetadas, e que em muitos casos ele se torna bastante viável. Casos esses que devem ser bem avaliados, por que se trata de inúmeros fatores que irão levar a diferentes desgastes dos componentes, como os materiais de que eles são produzidos, e de qual forma o condutor realiza as frenagens em seus veículos.

No entanto há casos em que a vida útil da pastilha de freio irá chegar ao seu fim, enquanto a do disco ainda estará na metade. Neste caso deve-se levar em conta o fator econômico visto que o preço do disco utilizado no estudo é de R\$382,00 reais enquanto a usinagem de recuperação teve um custo de R\$25,00 reais, lembrando que quanto mais atual for a tecnologia empregada no procedimento utilizado, melhor será o resultado obtido. No caso do disco usado na pesquisa, seu limite de espessura é de 16mm, e ele chegou a uma medida de 16,012mm após o processo, sendo esse não viável fazer a recuperação. Tal situação justifica-sepois se chegou bem proximo ao seu limite, sou

seja, apresentou elevado desgaste, sendo este um fator imprescindível para que segurança do seu sistema.

REFERÊNCIAS

ALVES, Raphael Hayashi. **ANÁLISE DE DESGASTE EM MATERIAIS APLICADOS EM DISCOS DE FREIO**, 2015. Disponível em:

<<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/123085/000823419.pdf?sequence=1>>

Acesso em 14 de Maio de 2016.

ANDREUCCI, Ricardo. **LIQUIDOS PENETRANTES**, 2013. Disponível em:

<www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/LP-2013_pdf%20substituir.pdf>

Acesso em 25 de Maio de 2016.

BATISTA, Marcelo Ferreira. **ESTUDO DA RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIES PLANAS USINADAS POR FRESAS DE TOPO ESFÉRICO**, 2006. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-13032007-234237/pt-br.php>>.

Acesso em: 22 de mar. 2017.

BREZOLIN, André. **Estudo de Geração de Trincas Térmicas em Discos de Freios de Veículos Comerciais**, 2007. Disponível em:

<<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/207/Dissertacao%20Andre%20Brezolin.pdf;jsessionid=1E6DC73A1049DACAC71064F753138147?sequence=1>>. Acesso em

2 de Maio de 2016.

CAMARGO, R. (2002). **Rugosidade superficial nas operações de torneamento**. Santa Bárbara D'Oeste: SENAI.

CALIL, L.F.P.; BOEHS, L. (2004). **A atenção dada pelas empresas à textura das superfícies usinadas**. Máquinas e Metais, São Paulo, v.41, n.466, p.142, nov.

CASARIL, Alexandre. **TENACIDADE À FRATURA DE MATERIAIS COMPÓSITOS DE FRICÇÃO COMO REQUISITO DE PROJETO DE COMPONENTES DE FRENAGEM PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**, 2013. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/86468>>. Acesso em: 21 de mar. 2017.

Callister, Jr. e William, D., 2002, **“Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”**, Editora LTC, São Paulo, 5ed., p. 78-85.

DINIZ, Anselmo Eduardo; Francisco Carlos Marcondes; Nivaldo Lemos Coppini.

Tecnologia da usinagem dos materiais. – 8 ed. São Paulo; Artliber Editor p.249,2013

ERIKSSON, M.; BERGMAN, F.; JACOBSON, S. **On the Nature of Tribological Contact in Automotive Brakes**. Wear, Uppsala, n.252, p.26-36, 2002.

INMETRO. **Avaliação de dados de medição — Guia para a expressão de incerteza de medição**, 2008. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf>. Acesso em: 28 de mai. 2017.

INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2, ed, Brasília, SENAI/DN, p. 13-35, 2000.

IOMBRILLER, S. F. “**Análise térmica e dinâmica do Sistema de Freio a Disco de Veículos Comerciais Pesados**”. Dissertação (doutorado em Engenharia Mecânica), São Carlos: USP – Universidade de São Paulo, p. 177, 2002.

MACHADO, Alisson Rocha ... [et al.]. **Teoria da usinagem dos materiais - 2**. Ed. – São Paulo; Blucher p. 299, 2011.

MACKIN, T.J., “**Thermal cracking in disc brakes**”, Engineering Failure Analysis, February 2002, Vol. 9, no. 1, pp. 63-76(14).

MALUF, Omar. **FADIGA TERMOMECÂNICA EM LIGAS DE FERRO FUNDIDO CINZENTO PARA DISCOS DE FREIO AUTOMOTIVOS**, 2007. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-23062009-151607/pt-br.php>>. Acesso em: 22 de mar. 2017.

Maneiro, M. A. G., Rodríguez, J., 2006, “**A Procedure to Prevent Pile up Effects on the Analysis of Spherical Indentation data in Elastic-Plastic Materials**”, Mechanics of Materials, Madrid, Spain.

Manual Nakata para sistema de freio. Disponível em:
<<http://www.nakata.com.br/files/catalogo/arquivo/3.pdf>>. Acesso em 24 de Abril de 2016.

Manual Técnico linha leve Frasle. Disponível em:
<http://www.freiar.com.br/portal/images/3202014-43010-pm_Manual%20Tec%20Linha%20Leve%202014.pdf>. Acesso em 28 de Maio de 2016.

O Mundo da Usinagem. Disponível em:
<<http://www.omundodausinagem.com.br/pdf/48.pdf>>. Acesso em 4 de Junho de 2016.

ORTHWEIN, W.C., **Clutches and Brakes – Design and Selection**, 2 ed. New York, Marcel Dekker, 2004.

SILVEIRA, Rafael. **DIMENSIONAMENTO E PROJETO DO SISTEMA DE FREIOS DE UM VEICULO FORA DE ESTRADA TIPO BAJA**, 2010. Disponível em:
<<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM053/Bibliografia/freios/%5BBR%5D%20-%20TCC%20freio%202010%20-%20Rafael%20Silveira.pdf>>. Acesso em: 23 de mar. 2017.

Souza, R.O.A. et al., Janeiro / Março, 2009, “**Avaliação da Dureza Vickers de Resinas Compostas de Uso Direto e Indireto**”, Cienc. Odontol. Bras., v.12, n.1, p.23-30.

e-TEC