

# DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DINÂMICAS DE MATERIAIS DE PASTILHAS DE FREIO AUTOMOTIVO

Rafael Sasso de Campos  
[sasso.campos@gmail.com](mailto:sasso.campos@gmail.com)  
[rafael.campos@poli.usp.br](mailto:rafael.campos@poli.usp.br)

Orientador: Marcelo Augusto Leal Alves  
[malalves@usp.br](mailto:malalves@usp.br)

**Resumo.** O ruído gerado por sistemas de freio sempre foi um fator presente desde sua invenção. Ao longo dos anos, a alta tecnologia desenvolvida pela indústria automotiva nos diversos sistemas que integram os veículos resultou em uma grande elevação no padrão de conforto dos mesmos. Neste contexto, os ruídos e as vibrações gerados pelos atuais sistemas de freio a disco se tornam cada vez mais proeminentes em virtude de os demais sistemas dos veículos se tornarem mais silenciosos. Surge, portanto, uma necessidade crescente de redução de tais fenômenos, em especial a do chamando squeal, que representa o tipo mais comum de ruído gerado durante as frenagens. Existem atualmente diversas linhas de estudo do problema que visam detalhar o comportamento dos componentes de sistemas de freio a disco quando em contato. No entanto, muito pouco se conhece sobre os materiais das pastilhas de freio, o que compromete os resultados obtidos dos modelos de estudo destes sistemas. Sendo assim, o presente trabalho tem o intuito de construir uma bancada de testes instrumentada capaz de avaliar propriedades dos materiais de atrito de pastilhas de freio quando sujeitos a cargas dinâmicas de excitação. A caracterização destes materiais deverá enriquecer a base de informações que suporta os estudos sobre a geração de ruídos dos sistemas de freio a disco. Esta bancada baseia-se na proposição de um novo método para determinação das propriedades dinâmicas de pastilhas de freio, em especial o Módulo de Elasticidade Complexo. A necessidade de implementação de um novo método de análise destas propriedades nos materiais se deve à inexistência de dados conclusivos sobre os mesmos, através de métodos convencionais de medição.

*Palavras-chave:* Ensaio dos materiais, Freios a disco, Propriedades dos materiais.

## 1. INTRODUÇÃO

O ruído de sistemas de freio sempre foi um fator presente desde sua invenção. Ao longo dos anos, a indústria automotiva tem investindo em melhorias no desempenho destes sistemas, por exemplo, com a concepção de freios a disco substituindo os tradicionais freios a tambor ou ainda, com o desenvolvimento de sistemas de freio anti-blocantes (ABS).

Apesar de todos os esforços realizados até o momento e de toda a tecnologia que envolve este ramo da indústria, o fenômeno do ruído gerado durante as frenagens continua sem uma solução suficientemente atrativa economicamente que possa ser viabilizada em larga escala. É interessante salientar que, embora seja extremamente incômodo à audição humana, o ruído não afeta a funcionalidade dos freios, não sendo, portanto um indicador válido na qualificação de tais sistemas. Entretanto, a grande maioria dos consumidores não partilha desta informação, o que, segundo Ruzzi (2004), resulta em índices cada vez maiores de reclamações por parte dos consumidores, acostumados com a contínua elevação do padrão de conforto e de qualidade dos automóveis.

Na tentativa de sanar este problema, que se estima ser o maior responsável pelos gastos anuais com serviços de garantia da indústria automobilística, os fabricantes de freios passaram a investir significativamente no estudo das causas do ruído. De maneira geral, assim como o presente trabalho, as pesquisas giram em torno dos sistemas de freio a disco tipo flutuante. Sua aplicação no mercado vem aumentando muito por apresentarem um menor tempo de resposta, um melhor desempenho e uma construção mais compacta em relação aos freios a tambor.

Sabe-se que o Módulo de Elasticidade Complexo é uma propriedade dos materiais de atrito de pastilhas de freio intimamente relacionada com a geração de ruído e vibrações durante as frenagens. No entanto, os diversos métodos de medição desenvolvidos até o presente são incapazes de gerar resultados conclusivos acerca desta propriedade, surgindo a necessidade de se conceber novas metodologias de ensaio.

## 2. PROPOSTA DE MEDIÇÃO

Um novo método de ensaio, ao qual o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um aparato de ensaios adequado, propõe basicamente a medição da resposta do material em questão a uma excitação dinâmica de frequência conhecida. Esta medição deve ser realizada sobre espécimes retirados diretamente das pastilhas de freio e consiste na determinação da aceleração relativa entre dois planos da amostra, paralelos entre si e perpendiculares à linha de atuação da excitação. O Módulo de Elasticidade do material deve ser determinado a partir destes dados de aceleração, juntamente com os valores de força aplicada e da frequência de excitação.

Uma análise mais cuidadosa sobre o método de avaliação em questão permite identificar uma série de necessidades às quais a bancada de testes deve atender e que abrangem tanto aspectos construtivos quanto operacionais.

### 3. PROJETO DA BANCADA

#### 3.1. Instrumentação

A seleção de toda a instrumentação foi baseada nos requisitos operacionais estabelecidos na metodologia de ensaio. Para introduzir a excitação do sistema, foi especificado um atuador inercial piezelétrico do tipo *shaker*, cujas características de oscilação são configuradas através de um gerador de funções convencional. A resposta do material à excitação é avaliada através de quatro acelerômetros posicionados de tal forma que seja possível avaliar a aceleração relativa entre os planos superior e inferior do espécime ensaiado (o que permite determinar a deformação sofrida pelo material sob uma dada condição de ensaio). Foram ainda especificados: uma célula de carga para avaliar a força exercida sobre a amostra e um sistema de aquisição de dados para coleta e análise dos sinais através de um microcomputador.

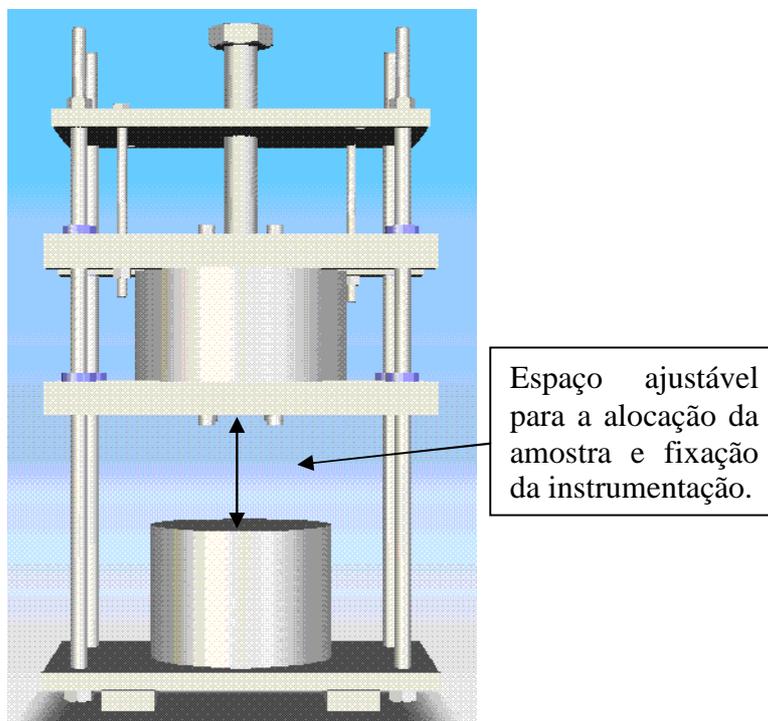
#### 3.2. Estrutura

O requisito de projeto fundamental nesta fase é a concepção de uma estrutura de fixação capaz de alojar o espécime e, ao mesmo tempo, sustentar toda a instrumentação que requer contato físico com o mesmo.

Deste ponto principal surgem diversas outras necessidades e a primeira delas se refere à massa inercial da estrutura e à sua rigidez. O *shaker* instalado no aparato tem a função de realizar um esforço de magnitude e frequência predeterminadas sobre o espécime. Desta forma, é necessário garantir que o maior percentual deste esforço seja de fato aplicado sobre o material ensaiado. Uma rigidez elevada impede o surgimento de deformações significativas na estrutura, assim como uma massa inercial adequada restringe a movimentação da mesma devido às vibrações. Consequentemente, a deformação do material pode ser calculada com precisão a partir dos dados coletados.

Basicamente, a estrutura concebida para atender a estes requisitos iniciais pode ser visualizada na Fig. (1). O material especificado foi o aço ABNT 1045.

Figura 1. Estrutura idealizada para a bancada de ensaios.



Nota-se na figura a existência de dois blocos maciços de aço. O bloco inferior, preso ao restante da estrutura, tem a finalidade de fixar a célula de carga e prover parte da massa inercial do sistema. No bloco superior, é fixado o atuador piezelétrico. Todo o espaço restante entre as duas massas é destinado ao alojamento do espécime e dos acelerômetros. É interessante salientar que este espaço pode ser ajustado através da movimentação vertical do bloco superior de

inércia, e que, após a alocação do material ensaiado, é possível a aplicação de uma pré-tensão sobre o mesmo através de um dispositivo representado pelo parafuso no topo da estrutura.

O espécime em si, assim como a sua alocação e o posicionamento dos acelerômetros, fica mais bem ilustrado nas Fig. (2) e Fig. (3).

Figura 2. Espécime de ensaio.

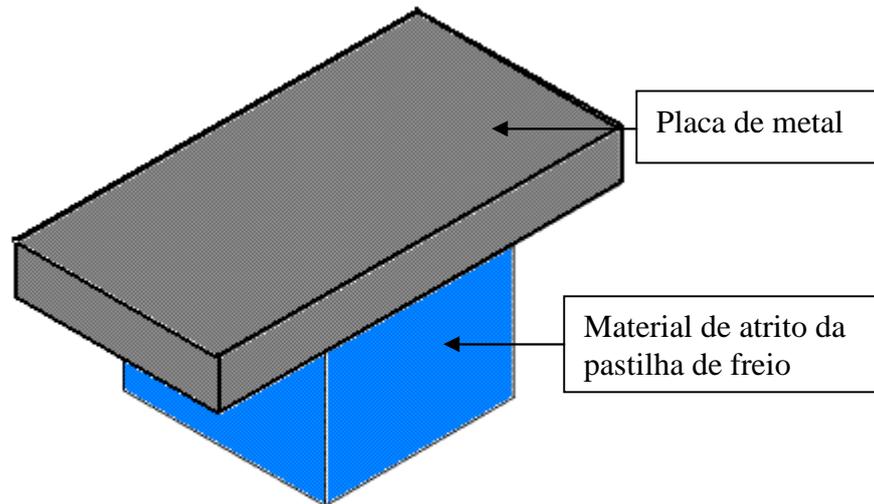
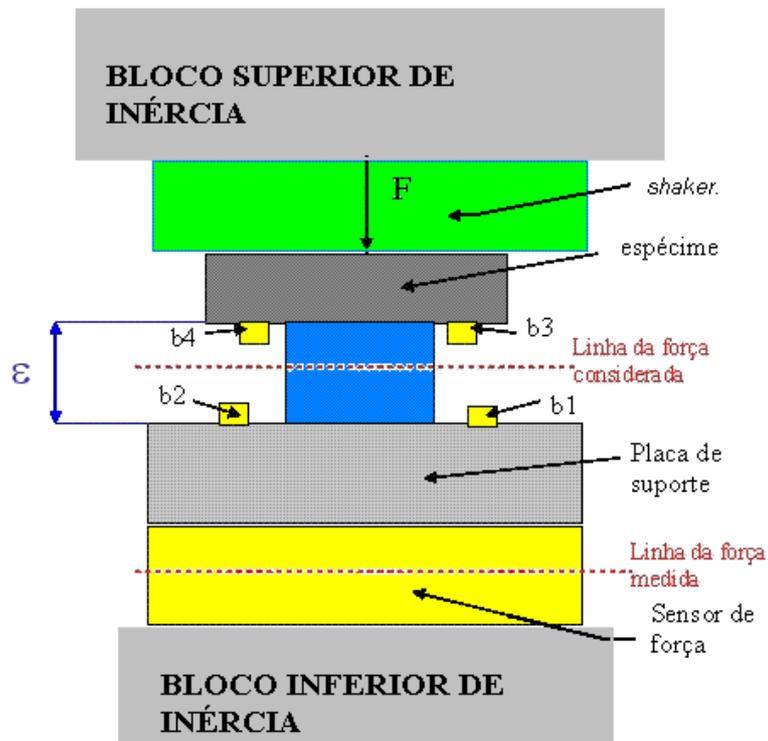


Figura 3. Arranjo da instrumentação e do espécime na bancada. As indicações b1, b2, b3 e b4 referem-se aos acelerômetros.



### 3.3. Análise da estrutura

A rigidez da estrutura como um todo pode influir na precisão dos dados medidos. No entanto, isso não se deve somente pela presença de deformações no sentido de aplicação de forças. Esta rigidez também tem grande influência sobre os modos de vibrar da estrutura, os quais resultam em movimentações relativas entre as peças nas mais variadas direções.

Por se tratar de um ensaio dinâmico com indução de excitação, é muito importante a determinação das frequências naturais de vibração da estrutura idealizada, juntamente com seus respectivos modos de vibrar. Esta análise, que foi realizada através de um software de Elementos Finitos, permite verificar a necessidade de eventuais ajustes na bancada, de modo a afastar quaisquer frequências potencialmente próximas àquelas impostas na excitação do ensaio. Da mesma forma, é possível avaliar se os modos de vibrar da estrutura produzirão alguma deformação de fato prejudicial às leituras de comportamento do material ensaiado.

A seguir, a Fig. (4) ilustra a malha gerada para análise.

Figura 4. Malha gerada no software de EF a partir da modelagem 3D da estrutura da bancada.

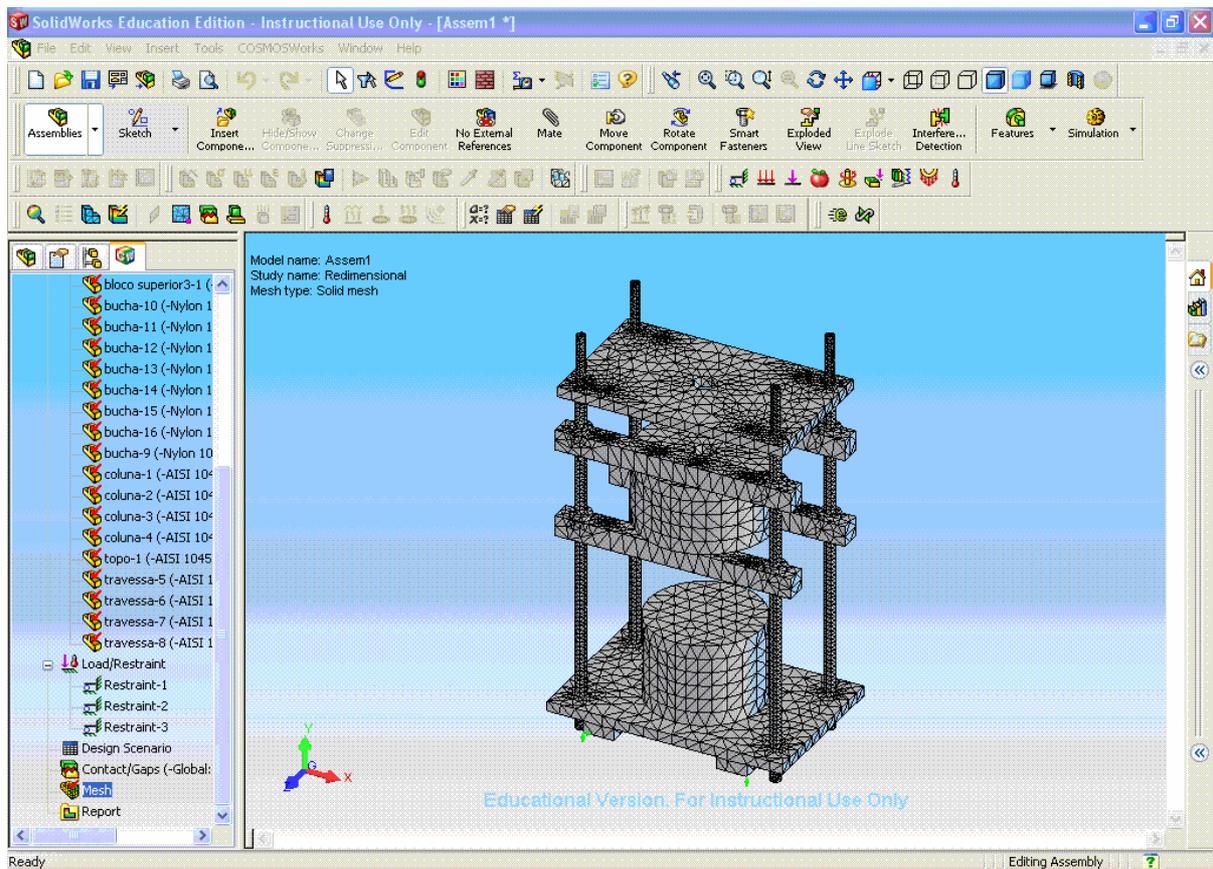


Figura 5 - Modos de vibrar da estrutura.

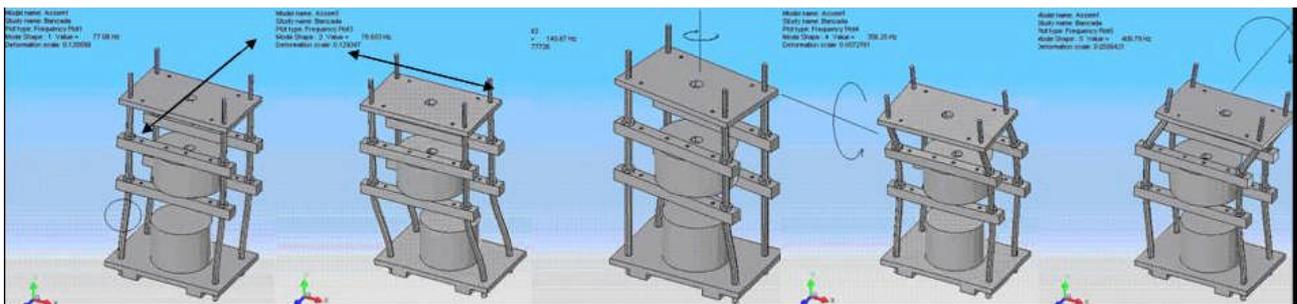


Tabela 1. Principais modos de vibrar e suas respectivas frequências naturais.

Modo de vibrar	Frequência natural associada (Hz)
1º	77,08
2º	78,60
3º	140,67
4º	356,25

A análise dos modos de vibrar da estrutura evidenciou a necessidade de se enrijecer ao máximo as colunas verticais de sustentação. Nota-se que em alguns modos (especialmente o 1º e 2º) existe um movimento relativo entre o bloco superior e o inferior. Este movimento, dependendo de sua amplitude, pode influenciar consideravelmente os resultados das medições, tendo em vista que a deformação do espécime passa a ser gerada por mecanismos difíceis de serem mensurados (diferentemente da deformação causada pela vibração induzida pelo *shaker*). A maneira mais prática de se obter este enrijecimento é através da redução da altura da estrutura.

### 3.4. Construção

Finalizadas as especificações e análises, a fase conclusiva do projeto foi iniciada. Foram criados desenhos de fabricação das peças, de acordo com as medidas inseridas na modelagem da estrutura da bancada, e desenhos de conjunto para a visualização de montagem do aparato. Nota-se dos desenhos apresentados que a simplicidade é uma das características bastante marcantes deste projeto.

Todas as peças foram usinadas em aço ABNT 1045 devido ao seu grau moderado de dureza, que ao mesmo tempo não dificulta o processo de fabricação e diminui a deterioração das peças (em relação à oxidação e a choques, principalmente).

## 4. RESULTADOS

A bancada de ensaios proposta está concluída e a realização de medições concretas sobre os espécimes de pastilhas de freios depende do estabelecimento de uma metodologia concreta de ensaios. Existem diversos fatores que influem nas medições, e estes precisam ser devidamente identificados para que haja confiabilidade nos resultados obtidos. Estima-se que a completa identificação destes fatores, seguida da realização de medições sistemáticas sejam atividades dignas de um estudo exclusivo.

Além do projeto e da construção do aparato experimental, foi desenvolvida uma rotina básica de cálculos para realização do tratamento de dados. Todas as informações pertinentes à configuração dos equipamentos e à utilização dos recursos da bancada foram detalhados em um manual de operações, que deverá ser de grande valor à continuidade do projeto. O desenvolvimento matemático em que se baseia a proposta de ensaios está explícito na monografia e sua omissão neste artigo se deve à extensão limitada do mesmo.

As figuras a seguir ilustram o aparato concluído.

Figura 6 - Sensores posicionados sobre espécime de calibração em acrílico.

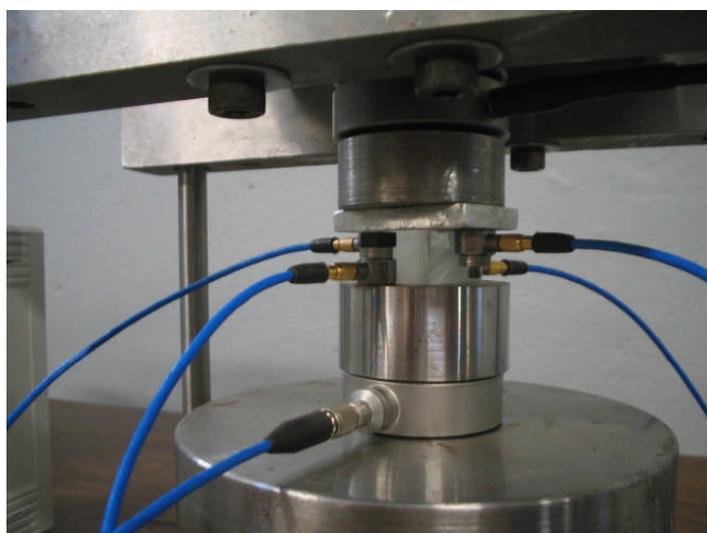
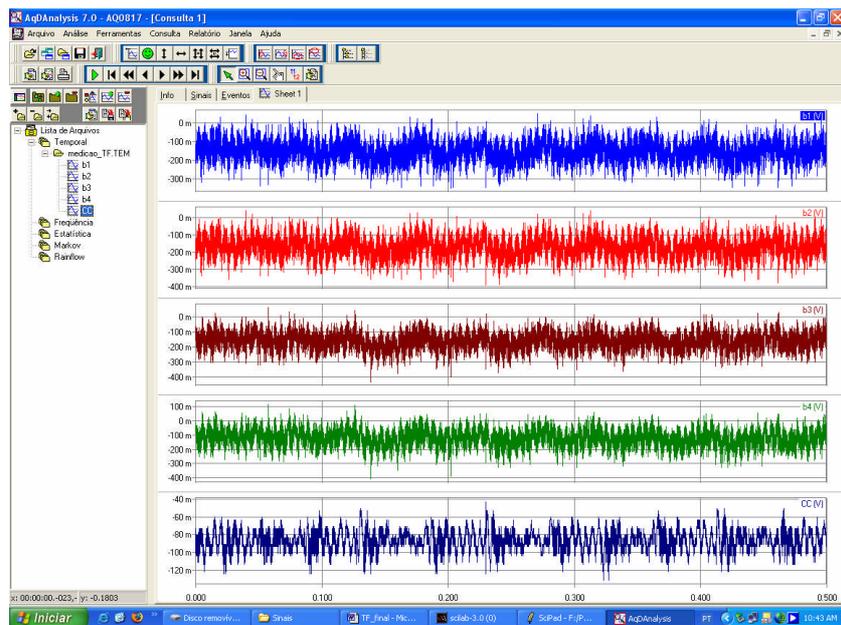


Figura 7 - A bancada de ensaios com seus equipamentos de medição.



Figura 8 - Sinais coletados dos sensores.



## 5. CONCLUSÕES

As propriedades dinâmicas dos materiais de atrito de pastilhas de freio são parâmetros praticamente incógnitos até o presente, em função da grande variância de resultados que os diversos métodos propostos fornecem.

Em contrapartida, sua determinação é de grande importância para o completo entendimento dos mecanismos de geração de ruído de sistemas de freio a disco de automóveis, fato que resume a motivação para o presente trabalho.

Foi desenvolvido, portanto, um aparato experimental capaz de avaliar o comportamento dos materiais sujeitos a cargas dinâmicas de intensidades e frequências variáveis, com o objetivo futuro de permitir a caracterização dos materiais de atrito de pastilhas de freio.

## 6. REFERÊNCIAS

Ruzzi, M.H., 2004, “Fundamentos de Ruído em Freios a Disco e Proposta de uma Bancada de Ensaio para Avaliação de Parâmetros de Materiais de Pastilhas”, Tese de mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Arruda, J. R. de F.; Huallpa, B. N., 2001, “Introdução à Análise Espectral”, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.
- Bahadur, S., 2003, “Fundamentals of Friction and Wear of Automobile Brake Materials”, Trabalho apresentado a SAE 21<sup>a</sup> Annual Brake Colloquium and Exhibition 2003.
- Brecht, J., 2003, “Properties of Friction Materials”, XXIII International  $\mu$  Symposium – Brake Conference, p.76 –98, Alemanha.
- Breuer, B.; Bill, K., 2003, “Bremsenhandbuch Grundlagen, Komponenten, Systeme, Fahrdynamik”, Vieweg & Sohn, Alemanha.
- Dunlap, K. B.; Riehle, A. ; Longhouse, R. E., 1999 “An Investigative Overview of Automotive Disc Brake Noise”, International Congress and Exposition - SAE International, Detroit , Estados Unidos da América.
- Eriksson, M., 2000, “Friction and Contact Phenomena of Disc Brakes Related to Squeal”, Tese (Doutorado). Comprehensive summaries of Uppsala Dissertations from the faculty of Science and Technology 537, Uppsala.
- Findley, W. N. et. al., 1989, “Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials” North –Holland Publishing Company, EUA.
- Flint, J., 2003, “Disc Brake Squeal. Tese (doutorado). University of Southern Denmark, Dinamarca.
- Lima, A. M. G., 2003, “Modelagem Numérica e Avaliação experimental de materiais viscoelásticos aplicados ao controle passivo de vibrações mecânicas”, Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Brasil.
- Wagner, U. von. et al., 2003, “Brake Squeal: Modeling and Experiments” Alemanha.

## DETERMINATION OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF AUTOMOTIVE DISC BRAKE PADS MATERIALS

**Rafael Sasso de Campos**

[sasso.campos@gmail.com](mailto:sasso.campos@gmail.com)

[rafael.campos@poli.usp.br](mailto:rafael.campos@poli.usp.br)

**Orientador: Marcelo Augusto Leal Alves**

[malalves@usp.br](mailto:malalves@usp.br)

***Abstract.** The noise generated for brake systems has always been a present factor since its invention. Along the years, the high technology developed by the automotive industry in the diverse systems that integrate the vehicles resulted in a great improvement in its comfort parameters. In this scenario, the noise and the vibration generated by the current brake systems have become more prominent if compared with the other systems of the vehicles. Therefore, rises an increasing necessity of reduction of such phenomena, in special of the so-called squeal noise, that represents the most common type of noise generated during the braking action. There are currently many study lines of this particular problem aiming to detail the behavior of the components of the disc brake systems during the friction periods. However, there is still very little information about the materials of the brake pad, which affects directly in the results of these studies. For that matter, the present work aims to construct an instrumented workbench capable of evaluating the properties of the friction materials of the brake disc pads, while stressed by dynamic load inputs. The characterization of these materials should provide useful data for the studies about the disc brake noise problem. This workbench is based on the proposal of a new method for determining the dynamic properties of those materials, in special the Complex Modulus of Elasticity. The need of introducing a new analysis method of these properties dues to the inexistence of conclusive data about their values through conventional methods of measurement.*

*Keyword.* Materials testing, Disc brake, Materials properties.